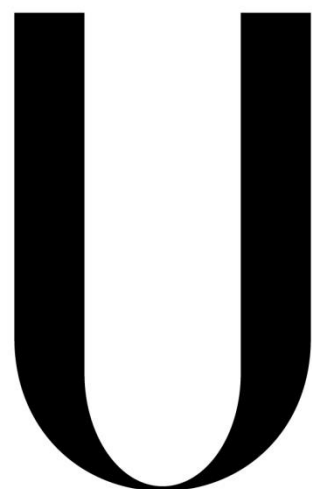


UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



LISBOA

UNIVERSIDADE
DE LISBOA

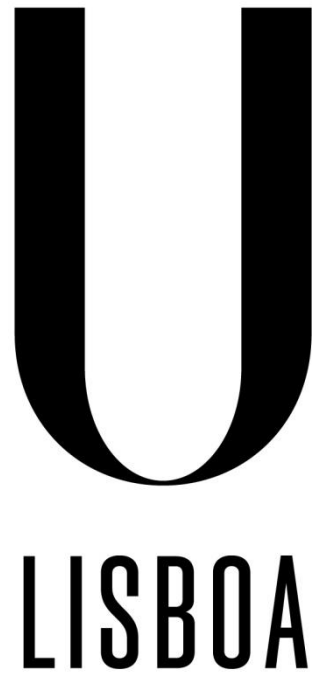
Extração direta de informação cartográfica de média escala para base de dados geográfica

Kelly Nancy Adelina de Oliveira

Dissertação
Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica – Tecnologias e Aplicações

2013

**UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA**



**UNIVERSIDADE
DE LISBOA**

Extração direta de informação cartográfica de média escala para base de dados geográfica

Kelly Nancy Adelina de Oliveira

Dissertação
Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica – Tecnologias e Aplicações

Orientadora: Profª Drª. Paula Maria Ferreira de Sousa Cruz Redweik (FCUL)

2013

Resumo

Considerando-se a rapidez e a constância das mudanças ocorridas nas sociedades atuais, é imprescindível preparar-se de forma a poder responder de modo positivo a essa realidade, pelo que é importante manter todas as informações a seu respeito reunidas, organizadas e atualizadas para permitir a implementação de projetos e tomada de decisões. Assim sendo, é de suma importância a realização de levantamentos cartográficos diretamente para base de dados, os quais, devido às mudanças em questão, nunca estão terminados e devem sempre acompanhá-lo através do progresso da tecnologia, quando há melhoria significativa nas condições de trabalho e nos resultados.

Perante essa evidente necessidade, é indiscutível que a qualidade das imagens com as quais se trabalham seja a melhor possível, a qual depende principalmente da resolução espacial dos sensores. A busca por imagens de satélites com a referida qualidade e que possibilitem a realização das atividades em questão com a melhor eficiência e, ao mesmo tempo, com o menor custo possível, tem se tornado um tópico de investigação crescente pela comunidade científica. No entanto, muitos desses trabalhos se focam na utilização de imagens de satélite em escala e resolução variada para a produção cartográfica temática. Sabe-se, contudo, que, diante da reunião e da organização de geo-informações diretamente em bases de dados, tal produção pouco ajuda em questões como a realização de exercícios da *North Atlantic Treaty Organization* (NATO) e, entre outras, desastres humanitários, por exemplo.

Dessa forma, existe uma preocupação contínua no âmbito do *Multinational Geospatial Co-production Program* (MGCP) no sentido de que os trabalhos para o qual tal programa se destina sejam realizados de tal forma eficiente que cumpram atempadamente os objetivos fixados para a produção cartográfica de média escala e lhe dê em igual tempo a possibilidade de os atualizar. Assim, na metodologia desenvolvida procurou-se perceber se houve aumento da eficiência nas tarefas de aquisição de dados (em termos de quantidade de dados adquiridos e de tempo despendido) realizadas no âmbito deste Programa, com a utilização das imagens multiespectrais ($\approx 2\text{m}$ de resolução espacial) comerciais provenientes do satélite *WorldView-2* que substituíram as do *WorldView-1* ($0,5\text{m}$ de resolução), apenas pancromáticas. No final, procurou-se identificar quais as melhorias conseguidas no desenvolver dos trabalhos.

O processo foi iniciado com a construção de uma tabela na qual estão identificados todos os elementos geográficos adquiridos (pontuais, lineares e areais). Nela foram registados dias e horas de trabalho despendidos para a aquisição de cada um deles.

Com o auxílio de dados de referência (Modelo Digital do Terreno (MDT) e ‘*rasters*’ de edições antigas de cartas analógicas do Instituto Geográfico do Exército (IGeoE), referentes à área de estudo), foram vetorizados elementos geo-espaciais para a base de dados de acordo com as regras constantes do *Technical Reference Documentation* (TRD), do Guia de Extração e do Catálogo de Objetos MGCP. Tal vetorização foi realizada em 2 etapas: na primeira foram utilizadas imagens pancromáticas e, na segunda, multiespectrais. Em ambas as etapas, foram primeiramente adquiridos elementos lineares seguidos dos pontuais. Contudo, a vetorização deste último tipo de elementos foi precedida da criação de uma grelha com células de $1.000\text{m} \times 665\text{m}$, aproximadamente, para servirem como orientadoras na consecução das atividades pela vetorização de objetos pontuais, ao fim das quais foi retirada. Os trabalhos de aquisição de dados da área de estudo para a base de dados foram concluídos com a vetorização dos elementos areais.

Por fim, a fim de serem analisados e avaliados os resultados da metodologia aplicada, para cada tipo de imagens utilizado (pancromáticas e multiespectrais) foram contados o total do tempo despendido para a aquisição de cada tipo de objeto adquirido (pontual, linear e areal) e da quantidade de cada um deles. De seguida, para igualar a unidade de tempo foi aplicada aos valores uma ‘regra de três simples’ e para se obter o percentual da eficiência atingida (considerando como eficiência o menor tempo necessário para a aquisição de cada tipo de objetos) foi utilizada a ‘fórmula de porcentagem’.

Dos resultados obtidos foi possível verificar que a utilização das imagens multiespectrais resulta em média numa eficiência cerca de 36,7% superior em relação às das pancromáticas. Contudo, uma análise mais minuciosa revelou que nem para todos os objetos citados neste projeto o uso das imagens multiespectrais revela-se como o mais promissor em atividades como as que estão em questão.

Palavras-chave: produção cartográfica, detecção remota, pancromáticas, multiespectrais, resolução espacial, eficiência.

Abstract

Considering the speed and the constancy of the changes in contemporary societies, it is essential to be prepared in order to be able to respond positively to this reality, so it is important to keep all information that was collected, organized and updated to allow project implementation and decision-making. Therefore, it is of paramount importance surveying mapping directly to the database, which, due to the changes in question were never finished and should always be followed through the progress of technology, when there is significant improvement in working conditions and in results.

Given this obvious need, it is undisputed that the quality of the images with which to work is the best possible, depends mainly on the spatial resolution of the sensors. The search for satellite images with that quality and enabling the fulfillment of the activities in question with greater efficiency and at the same time, at the lowest possible cost, has become a topic of growing research by the scientific community. However, many of these studies focus on the use of satellite images which vary both in scale and in resolution for thematic map production. It is known, however, that before the meeting and the organization of geo-information directly into databases, there was such little production that helps on issues such as exercises of the *North Atlantic Treaty Organization* (NATO) and, among others, humanitarian disasters for example.

Thus, there is an ongoing concern within the *Multinational Geospatial Co-production Program* (MGCP) in the sense that the work for which this program is intended to be carried out efficiently in such a timely manner that meet the objectives for cartographic medium scale production and at the same time gives the possibility of updating. Thus, the methodology sought to understand whether increased efficiency in the tasks of data acquisition (in terms of amount of data acquired and time spent) carried out under this program, with the use of multispectral images ($\approx 2\text{m}$ resolution space) from the commercial satellite *WorldView-2* which have replaced the *WorldView-1* (0.5 m resolution), only panchromatic. In the end, we sought to identify the improvements achieved in upcoming work.

The process began with the construction of a table in which all geographic elements acquired (point, line and areas) are identified.

With the help of reference data (Digital Terrain Model (DTM) and 'raster' of old editions of letters analog Portuguese Geographic Army Institute covering the study area) were vectorized geo-spatial elements to the database according to the rules contained in the Technical Reference Documentation (TRD), in the Guide Extraction and in the Object Catalog of the MGCP. This vectorization was performed in two stages. In the first stage panchromatic images were used and in the second stage, multispectral images were used. In both steps, linear elements were first acquired and then the point elements. However, vectorization of the point elements was preceded by the creation of a grid of cells $1.000\text{m} \times 665\text{m}$ approximately to serve as guidelines for the achievement of activities by vectoring point objects, after which it was removed. The tasks of data acquisition of the study area for the database had been completed with the vectorization of the area elements.

Finally, in order to analyze and evaluate the results of the method applied for each kind of images used (panchromatic and multi-spectral), were counted the total time taken for acquiring each type of the acquired object (punctual, linear and areal) and the amount of each of them. Then, to match the time unit was applied to the values a 'simple rule of three' and to obtain the percentage of the attained efficiency (considering efficiency as the shortest time necessary for the acquisition of each type of objects) was used a 'percentage formula'.

The results obtained showed that the use of multispectral images result in an average efficiency of about 36.7% higher when compared to the panchromatic images. However, closer examination revealed that not for all objects referenced in this project, the use of multispectral images is revealed as the most promising considering all the activities analyzed in this research.

Keywords: cartographic production, remote sensing, panchromatic, multispectral, spatial resolution, efficiency.

Agradecimentos

A Deus, acima de tudo e de todos. Meu amigo e companheiro fiel.

À minha mãe e aos meus irmãos, responsáveis pela minha educação. E que, perto ou longe, sempre me deram o suporte necessário para enfrentar os obstáculos e avançar positivamente em cada etapa da minha vida.

A Vítor Pereira, meu marido, por ter sido sempre incentivador, amigo, companheiro e paciente.

A todos os professores que, com seu trabalho, simpatia e esforço, cooperaram para que eu pudesse realizar este curso de mestrado. À Professora Doutora Paula Maria Ferreira de Sousa Cruz Redweik que aceitou ser minha orientadora e intermediadora do estágio acadêmico-profissional desenvolvido no Instituto Geográfico do Exército.

Ao Instituto Geográfico do Exército que me acolheu como estagiária e me deu todo o suporte necessário para a realização das atividades inerentes ao estudo desenvolvido no âmbito do *Multinational Geospatial Co-production Program*.

E a todos aos quais não me referi especificamente, mas que em algum momento foram e são importantes na minha caminhada.

**“O cavalo prepara-se para o dia de batalha, mas do Senhor vem a vitória”
Provérbios Capítulo 21, versículo 31.**

Índice

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. ENQUADRAMENTO HISTÓRICO	1
1.2. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA.....	2
1.3. OBJETIVOS	3
1.4. ESTADO DA ARTE.....	4
1.5. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	7
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	8
2.1. PRINCÍPIOS GENÉRICOS DE DETECÇÃO REMOTA	8
2.2. SATÉLITES.....	9
2.2.1 Tipos de satélites	9
2.2.2 Os sistemas sensores e as resoluções.....	11
2.2.3 Séries orbitais espaciais - satélites de observação dos recursos naturais da Terra	13
3. METODOLOGIA	24
3.1 ENQUADRAMENTO DO ESTUDO	24
3.1.1 Precedente do MGCP: Vector Map	24
3.1.2 MGCP	31
3.1.3 Metas de produção MGCP.....	32
3.2 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	37
3.3 DESCRIÇÃO DOS DADOS	39
3.4 WORKFLOW DAS VETORIZAÇÕES.....	43
3.5 VETORIZAÇÃO UTILIZANDO IMAGENS PANCROMÁTICAS	44
3.5.1 Elementos lineares	44
3.5.2 Elementos pontuais	49
3.5.3 Elementos areais.....	55
3.6 VETORIZAÇÃO UTILIZANDO IMAGENS MULTIESPECTRAIS.....	63
3.6.1 Elementos lineares	63
3.6.2 Elementos pontuais	66
3.6.3 Elementos areais.....	69
3.7 VALIDAÇÃO	77
4. ANÁLISE COMPARATIVA	79
5. CONCLUSÕES, DISCUSSÃO E TRABALHOS FUTUROS	82
6. BIBLIOGRAFIA E REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	85

Índice de Figuras

FIGURA 1: ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO (ADAPTADO DE FONSECA & FERNANDES, 2004)	9
FIGURA 2: À ESQUERDA: DINÂMICA DO PROCESSO DE POSICIONAMENTO REALIZADO PELOS SATÉLITES DE NAVEGAÇÃO – A, B E C: SATÉLITES; D, E E F: APARELHOS RECEPTORES NAS SUPERFÍCIES MARÍTIMA E TERRESTRE E NO ESPAÇO AÉREO TERRESTRE, RESPECTIVAMENTE; G: ESTAÇÃO DE CONTROLO E H: ESTAÇÃO TRANSMISSORA (ADAPTADO DE WWW.MICROTECHBD.NET). À DIREITA: APARELHO RECEPTOR DE SINAIS RÁDIO (KERETA.INFO).....	10
FIGURA 3: INSTRUMENTOS HRVs TRABALHANDO EM MODO COMBINADO. A: À ESQUERDA, ILUSTRAÇÃO DAS FAIXAS CONTÍGUAS COBERTAS. B: À DIREITA, ILUSTRAÇÃO DA COBERTURA DE DETERMINADA ÁREA ATRAVÉS DE DOIS ÂNGULOS DE VISADA (ASTRIUM, 2013)	14
FIGURA 4: ILUSTRAÇÃO DOS INSTRUMENTOS HRG E HRS TRABALHANDO EM MODO COMBINADO, EM DETERMINADA ÁREA, ATRAVÉS DE VÁRIOS ÂNGULOS DE VISADA (ASTRIUM, 2013).....	15
FIGURA 5: ILUSTRAÇÃO DA ORGANIZAÇÃO DO MODELO DE DADOS VPF, POR NÍVEIS DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS (NGA, 1996)	27
FIGURA 6: LIMITES DAS REGIÕES PARA FINS DE INFORMAÇÕES VETORIAIS DO VMAP 0 (NGA, 2004)	28
FIGURA 7: ILUSTRAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DE 57 DAS 234 TELHAS GEOGRÁFICAS DE DADOS ADQUIRIDOS PELO VMAP 1 (ADAPTADO DE NGA, 2013)	30
FIGURA 8: ETAPAS DE PRODUÇÃO DO MGCP POR PORTUGAL	33
FIGURA 9: EXEMPLO DE VETORIZAÇÃO DE DETERMINADA LINHA DE ÁGUA, COM A CODIFICAÇÃO DEFINIDA PARA O EFEITO - BA010 - <i>LAND WATER BOUNDARY LINE</i>	36
FIGURA 10: EXTRATO DO GUIA DE EXTRAÇÃO MGCP	36
FIGURA 11: MAPA CLIMÁTICO DA ÁFRICA DE ACORDO COM A CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DE KÖPPEN-GEIGER (ADAPTADO DE 'ÁFRICA', 2013)	37
FIGURA 12: À ESQUERDA: CÉLULAS E SUBCÉLULAS DE PRODUÇÃO MGCP. À DIREITA: ENQUADRAMENTO DA ÁREA DE ESTUDO	38
FIGURA 13: EXEMPLO DE DIFERENTES MORFOLOGIAS APRESENTADAS PELA ÁREA DE ESTUDO. ORTOFOTO <i>PAN-SHARPENED</i>	38
FIGURA 14: MOSAICOS DE ORTOFOTOS PANCROMÁTICAS (À ESQUERDA) E MULTIESPECTRAIS (À DIREITA) DA ÁREA DE ESTUDO	41
FIGURA 15: MDT (À ESQUERDA) E <i>RASTER</i> ÂNGOLA (À DIREITA) DE PARTE DA ÁREA DE ESTUDO.....	42
FIGURA 16: DIAGRAMA REPRESENTATIVO DA METODOLOGIA APLICADA	43
FIGURA 17: <i>RASTER</i> ÂNGOLA E CURSOS DE ÁGUA VETORIZADOS DE PARTE DA ÁREA DE ESTUDO.....	45
FIGURA 18: MDT E CURSOS DE ÁGUA VETORIZADOS DE PARTE DA ÁREA DE ESTUDO.....	45
FIGURA 19: EM 'A':, CONFUSÃO QUANTO AO TIPO DE CAMINHO A VETORIZAR, OFUSCADO PRINCIPALMENTE PELA VEGETAÇÃO CIRCUNDANTE. EM 'B' E EM 'C': CLARA EVIDÊNCIA DE CAMINHO DO TIPO "CARRETEIRO"	47
FIGURA 20: DIFICULDADE DE VISUALIZAÇÃO DO 'CAMINHO CARRETEIRO', OFUSCADO PELA RESPOSTA ESPECTRAL DO SOLO.....	47
FIGURA 21: 'CAMINHO CARRETEIRO' (CASTANHO) VETORIZADO (13°21'36,434"E 13°6'5,252"S).....	48
FIGURA 22: 'CAMINHO CARRETEIRO', 'LINHA DE ÁGUA' E POSSÍVEIS OUTROS OBJETOS NÃO VISUALIZADOS SOB A NUVEM E SUA SOMBRA	48
FIGURA 23: 'CAMINHO CARRETEIRO' (CASTANHO) SOB A NUVEM E LINHA DE ÁGUA (AZUL) SOB SUA SOMBRA, VETORIZADOS	49
FIGURA 24: 'GRELHA ORIENTADORA' NAS ATIVIDADES DE VETORIZAÇÃO DE ELEMENTOS PONTUAIS	50
FIGURA 25: EXEMPLO DE CABANAS CERCADAS, COMUMENTE UTILIZADAS POR COMUNIDADES AFRICANAS (BRITANNICA, 1989)	50
FIGURA 26: CABANAS CERCADAS, VETORIZADAS.....	51
FIGURA 27: 'CABANA' (A) IDENTIFICADA PELA PROXIMIDADE DE 'TRILHA HUMANA' (B, AMARELO) E 'LINHAS DE ÁGUA' (C, AZUL), VETORIZADAS	51
FIGURA 28: PROVÁVEIS 'CABANAS' RIBEIRINHAS NÃO VETORIZADAS.....	52
FIGURA 29: 'CONSTRUÇÕES' (PONTOS VERNELHOS), 'CABANAS' (PONTOS AMARELOS), CAMINHO CARRETEIRO (LINHA CASTANHA) E LINHA DE ÁGUA (LINHA AZUL), VETORIZADOS	53

FIGURA 30: ‘CABANAS’ (PONTOS AMARELOS) E ‘BARRACO’ CALAANGA (PONTO VERDE), PONTUALMENTE VETORIZADOS	53
FIGURA 31: ‘FORMAÇÕES ROCHOSAS PONTUAIS’ (PONTOS PRETOS) VISTAS NA ESCALA DE VISUALIZAÇÃO DE 1:15.000	54
FIGURA 32: RIO ÁREA INTERROMPIDO PARA DAR LUGAR A UM RIO LINHA COM COMPRIMENTO > 300M.....	55
FIGURA 33: ÁREA DE CULTIVO DESENVOLVIDA ÀS MARGENS DE UM RIO ÁREA	56
FIGURA 34: ÁREA DE CULTIVO (VERDE OLIVA) E UM RIO ÁREA PERENE (AZUL), VETORIZADOS	57
FIGURA 35 A: ‘ÁREA DE CULTIVO’ COM ESPAÇOS EM PROVÁVEL PREPARAÇÃO PARA O PLANTIO, DESENVOLVIDA ÀS MARGENS DE UM RIO ÁREA (COPOROLO)	57
FIGURA 35 B: ‘ÁREA DE CULTIVO’ COM ESPAÇOS EM PROVÁVEL PREPARAÇÃO PARA O PLANTIO, DESENVOLVIDA ÀS MARGENS DE UM RIO ÁREA (COPOROLO), VETORIZADOS.....	58
FIGURA 36 A: EXPOSIÇÃO DE ELEMENTOS ROCHOSOS.....	59
FIGURA 36 B: ELEMENTOS ROCHOSOS VETORIZADOS.....	60
FIGURA 37 A: AO CENTRO, ÁREA COM ELEMENTOS MISTOS: DE ‘SOLO EXPOSTO’ E DE ‘VEGETAÇÃO ESPALHADA’	61
FIGURA 37 B: ‘SOLO EXPOSTO’ (NA COR BEGE CLARO), VETORIZADO	61
FIGURA 38 A: EM ‘A’: PLANÍCIE COM ‘VEGETAÇÃO 25’. EM ‘B’: CORREDOR DE VENTO COM ‘VEGETAÇÃO 51’	62
FIGURA 38 B: EM ‘A’: PLANÍCIE COM ‘VEGETAÇÃO 25’. EM ‘B’: CORREDOR DE VENTO COM ‘VEGETAÇÃO 51’, VETORIZADOS	63
FIGURA 39 A: ‘LINHA DE ÁGUA’ CRUZANDO-SE E COINCIDINDO CONSTANTEMENTE COM UM CAMINHO DO TIPO ‘CARRETEIRO’	64
FIGURA 39 B: ELEMENTOS DA FIGURA 42 A, VETORIZADOS: ‘LINHAS DE ÁGUA’ (AZUL) E CAMINHO DO TIPO ‘CARRETEIRO’ (CASTANHO)	64
FIGURA 40: RIOS SECOS EM REGIÕES MAIS AGRESTES DA ÁREA DE ESTUDO (AZUL), CRUZANDO-SE OU COINCIDINDO COM CAMINHOS DO TIPO ‘TRILHA HUMANA’ (COR DE ABÓBORA). À ESQUERDA, IMAGEM ID 22; À DIREITA: IMAGEM ID 32	65
FIGURA 41: PEQUENOS AFLORAMENTOS ROCHOSOS CONFUNDIDOS COM ELEMENTOS HABITACIONAIS, PRÓXIMOS A CURSOS DE ÁGUA	67
FIGURA 42: PROVÁVEIS ‘CABANAS CERCADAS’, NÃO VETORIZADAS (INDICADAS PELAS SETAS VERMELHAS); ‘CABANAS NÃO CERCADAS’, VETORIZADAS (INDICADAS PELAS SETAS VERDES) E PROVÁVEL CABANA NÃO CERCADA, NÃO VETORIZADA (INDICADA PELA SETA COR DE ABÓBORA).....	67
FIGURA 43: ‘CABANAS’ RIBEIRINHAS VETORIZADAS (PONTOS AMARELOS)	68
FIGURA 44: ‘CONSTRUÇÕES’ (PONTOS VERMELHOS), ‘CABANAS’ (PONTOS AMARELOS), ‘CAMINHOS CARRETEIROS’ (LINHA CASTANHA) E ‘LINHA DE ÁGUA’ (AZUL), VETORIZADOS	69
FIGURA 45: MARGENS DE ‘RIO ÁREA’ (AZUL CLARO) MELHOR IDENTIFICADAS	70
FIGURA 46: TRECHO INTERMITENTE DO RIO COPOROLO.....	71
FIGURA 47 A: ‘ÁREAS DE CULTIVO’ E EM PREPARAÇÃO PARA O PLANTIO, DESENVOLVIDAS ÀS MARGENS DE RIOS ÁREA.....	71
FIGURA 47 B: ÁREAS DE CULTIVO E EM PREPARAÇÃO PARA O PLANTIO (VERDE OLIVA), DESENVOLVIDAS ÀS MARGENS DE RIOS ÁREA INTERMITENTE (AZUL CLARO), VETORIZADOS	72
FIGURA 48 A: EXPOSIÇÕES ROCHOSAS AREAIS VETORIZADAS A PARTIR DA UTILIZAÇÃO DE IMAGENS MULTIESPECTRAIS	73
FIGURA 48 B: EXPOSIÇÕES ROCHOSAS AREAIS VETORIZADAS A PARTIR DA UTILIZAÇÃO DE IMAGENS MULTIESPECTRAIS	73
FIGURA 49 A: ÁREA RELATIVA À FIGURA 40 A (13°27'24,463"E 13°2'29,473"S), VISTA A PARTIR DE IMAGENS MULTIESPECTRAIS	75
FIGURA 49 B: FIGURA 53 A VETORIZADA: ‘ÁREA DE PASTAGEM’ (GRASSLAND) AO CENTRO (BEGE-CLARO); ‘ÁREA DE VEGETAÇÃO 25’ (VERDE-CLARO); ‘ÁREA DE VEGETAÇÃO 51’ (VERDE ESCURO) E FORMAÇÕES ROCHOSAS (PONTOS E ÁREAS CINZA-ESCUROS)	75
FIGURA 50: ÁREA MAIS SUSCETÍVEL ÀS AÇÕES HUMANAS (13°21'11,026"E 13°0'28,135"S), VETORIZADA COMO ‘SOLO EXPOSTO’.....	76
FIGURA 51: EXEMPLO DE PROCEDIMENTO PARA CORREÇÃO DO PREENCHIMENTO DA TABELA DE ATRIBUTOS, COMO PARTE INTEGRANTE DA FASE DE REVALIDAÇÃO	77

Índice de Tabelas

TABELA 1: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS GENÉRICAS DOS SENSORES DA SÉRIE LANDSAT; S.D.: SEM DADOS	18
TABELA 2: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS GENÉRICAS DOS SENSORES DA SÉRIE SPOT	20
TABELA 3: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS GENÉRICAS DO SENSORES DO SATÉLITE QUICKBIRD II	22
TABELA 4: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS GENÉRICAS DOS SENSORES DA SÉRIE WORLD VIEW	23
TABELA 5: ESTRUTURA DE UM ‘DIRETÓRIO VPF’ (NGA, 1996)	25
TABELA 6: ESTRUTURA DE UMA ‘TABELA VPF’ (NGA, 1996).....	26
TABELA 7: DATA E HORA DE CAPTAÇÃO PELO SATÉLITE DAS IMAGENS MULTIESPECTRAIS E PANCROMÁTICAS INERENTES À ÁREA DE ESTUDO	40
TABELA 8: TOTAL DE OBJETOS COLETADOS DA ÁREA DE ESTUDO POR TIPO, PELA UTILIZAÇÃO DE IMAGENS PANCROMÁTICA E MULTIESPECTRAL E TEMPO DESPENDIDO NAS ATIVIDADES DE EXTRAÇÃO DE CADA TIPO DE OBJETOS	79
TABELA 9: TOTAL DE OBJETOS COLIGIDOS DA ÁREA DE ESTUDO POR GRUPO, PELA UTILIZAÇÃO DE IMAGENS PANCROMÁTICA E MULTIESPECTRAL, TEMPO DESPENDIDO NAS ATIVIDADES DE EXTRAÇÃO DE CADA GRUPO DE OBJETOS E EFICIÊNCIA ALCANÇADA PELO USO DAS IMAGENS MULTIESPECTRAIS EM RELAÇÃO AO DAS PANCROMÁTICAS	81

Lista de Abreviaturas

2D	Duas dimensões
3D	Três dimensões
BCP 2000	<i>Ball Commercial Platform 2000</i>
BHRC 60	<i>Ball High Resolution Camera 60</i>
bit	<i>Binary digiT</i>
CCD	<i>Charged Couple Device</i>
CNES	<i>Centre National d'Études Spatiales</i>
DCW	<i>Digital Chart of the World</i>
DFDD	<i>DGIWG Feature Data Dictionary</i>
DGIWG	<i>Digital Geographic Information Working Group</i>
DIGEST	<i>Digital Geographic Information Exchange Standard</i>
DMA	<i>US Defense Mapping Agency</i>
DOD	<i>U.S. Department of Defense</i>
DPI	Pontos por polegada (<i>Dots Per Inch</i>)
DR	Detecção Remota
FACC	<i>Feature and Attribute Coding Catalog</i>
GIFOV	<i>Ground-projected Instantaneous Field Of View</i>
BGIS 2000	<i>Global Imaging System 2000</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GSD	<i>Ground Sample Distance</i>
HRG	<i>High Resolution Geometric</i>
HRS	<i>High Resolution Stereoscopic</i>
HRV	<i>High Resolution Visible</i>
HRV-IR	<i>High Resolution Visible-Infrared</i>
IFOV	<i>Instantaneous Field Of View</i>
IGW	<i>International Warehouse Geospatial</i>
LDCM	<i>Landsat Data Continuity Mission</i>
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDS	Modelo Digital de Superfície
MDT	Modelo Digital do Terreno
MGCP	<i>Multinational Geospatial Co-production Program</i>
MSS	<i>Multispectral Scanner System</i>
NGA	<i>National Geospatial-Intelligence Agency</i>
NGC	<i>NATO Geographic Conference</i>
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>

NATO	<i>North Atlantic Treaty Organization</i>
NFI	<i>Named Feature Identifier</i>
NIMA	<i>National Imagery and Mapping Agency</i>
NIR	<i>Near InfraRed</i>
OLI	<i>Operational Land Imager</i>
ONC	<i>Operational Navigation Chart</i>
PDI	Processamento Digital de Imagens
PF	Pontos Fotogramétricos
RGB	<i>Red, green, blue</i>
RBV	<i>Return Beam Vidicon</i>
REM	Radiação Eletromagética
SGBD	Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados
.shp	<i>ShapeFile</i>
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
SNSB	<i>Swedish National Space Board</i>
SPOT	<i>Système Pour l'Observation de la Terre</i>
SSTC	<i>Belgian Scientific, Technical and Cultural Services</i>
SWIR	<i>Short-Wave InfraRed</i>
TIR	<i>Thermal InfraRed</i>
TIRS	<i>Thermal Infrared Sensor</i>
TM	<i>Thematic Mapper</i>
TM+	<i>Thematic Mapper Plus</i>
TRD	<i>Technical Reference Documentation</i>
Vmap 0	<i>Vector Map 0</i>
Vmap 1	<i>Vector Map 1</i>
Vmap 2	<i>Vector Map 2</i>
Vmap 3	<i>Vector Map 3</i>
VPF	<i>Vector Product Format</i>

1. Introdução

1.1. Enquadramento histórico

Conhecida como a ciência responsável por representar a Terra no seu todo ou em parte através de cartas, de mapas e de outros tipos de projeções cartográficas, a Cartografia surgiu em tempos remotos, antes mesmo da escrita, quando os homens pré-históricos procuraram se expressar (notadamente no interior de cavernas) principiantemente através de mapas registando sua passagem por lugares e delimitando territórios (IBGE, 2012). Contudo, o primeiro mapa da história registado foi confeccionado por volta de 2.500 a.C. que consiste numa placa de argila cozida com inscrições em caracteres cuneiformes (escrita suméria) onde foi representada a região de Ga-Sur, lado setentrional da Mesopotâmia - o vale de um rio, provavelmente o Eufrates. Além dos sumérios, outros povos também dominam há muito tempo esta arte de confeccionar representações geográficas como os astecas, os chineses e os egípcios cuja produção de mapas não tinha apenas o objetivo de os orientar, mas também possuía fins bélicos e para demarcar regiões garantindo, assim, o pagamento dos impostos.

Da data da confecção do primeiro mapa da história registado até os dias atuais a Cartografia se desenvolveu atravessando várias fases e contribuindo para o desenvolvimento das artes em geral, da filosofia e das ciências. A *época clássica* tem como principais representantes os gregos uma vez que foram os primeiros a usar métodos científicos e a observação na tentativa de representar a Terra. Na *Idade Média*, quando a Igreja teve forte influência sobre a confecção dos mapas, a Cartografia pouco se desenvolveu tendo tido todas as conquistas científicas até então realizadas substituídas por uma simbologia de cunho religioso. Apesar da relatada perda no Ocidente, os árabes vinham preservando os conhecimentos científicos adquiridos, sendo os responsáveis por trazer a bússola para a parte ocidental e, assim, por propiciar os mecanismos para que os genoveses desenvolvessem um novo tipo de carta utilizada para navegação (as Cartas Portulanas que procuravam representar as costas dos continentes e o Mar Mediterrâneo). Esta época atingiu seu apogeu na época das Grandes Navegações que marca o início da *Idade Moderna*.

Até à data, o acesso à Cartografia era um privilégio de poucos abastados. Mas com a invenção da imprensa na segunda metade do século XV ela toma mais um impulso quando foram reunidos esforços para se mapear o mais novo continente descoberto. Tais esforços proporcionaram a realização do primeiro mapa-mundi com projeção cilíndrica, em 1569, o qual leva o apelido do seu criador, o holandês Gerard Mercator, que utilizou todo o conhecimento produzido até a época para tal feito. Apesar de tais conquistas, foi apenas a partir do século XVII que os países passaram a se preocupar mais com o rigor científico dos mapas. Já a Revolução Industrial britânica que ocorreu em finais do século XVIII proporcionou uma geração de riquezas as quais, por sua vez, possibilitaram um maior investimento na produção de instrumentos que melhoraram a precisão dos trabalhos envolvidos na produção de cartas e mapas.

Muitos desafios se punham perante os cientistas modernos como o cálculo preciso das longitudes e a confirmação de que a Terra era mesmo achatada nos Pólos conforme o previsto por Isaac Newton. Estudos aliados ao desenvolvimento proporcionaram não só a ultrapassagem desses desafios como puseram à disposição da Cartografia recursos com os quais pôde contar para uma produção cartográfica com maior facilidade como também para disponibilizar e atualizar de forma mais rápida e eficiente as informações recolhidas.

Dentre os citados recursos, a fotogrametria não pode deixar de ser citada. De acordo com Berberan (2003), essa é a ciência cujas técnicas se dedicam à recolha de informações fidedignas que representem a forma (2D ou 3D), posição e dimensão de objetos no espaço a partir de fotografias aéreas. Essa ciência pode ser dividida em 'fotogrametria terrestre', cuja utilização é voltada principalmente para documentar o estado atual das fachadas de edifícios e monumentos, e

‘fotogrametria aérea’ que é usada para a construção de modelos digitais do terreno, aquisição de coordenadas de pontos requeridos, retificação de fotografias (ortofotos), interpretação do objeto (tipo, quantidade, tamanho, etc.), de mapas temáticos, topográficos e, entre outros, é utilizada em estudos ambientais, geológicos, florestais, etc.

Tais estudos, contudo, na década de 90 do século XX foram substituindo a utilização das imagens aéreas utilizadas em fotogrametria por imagens captadas por satélites artificiais. Isto porque só foi neste período que começaram a ser lançados satélites de alta resolução espacial, fato que alarga a possibilidade de suas aplicações, como aquisição de informações de áreas mais extensas, como florestais, por exemplo, que requerem uma qualidade de resolução tal que permita a visualização e identificação de espécies e ou objetos.

Aliada a esse contexto, a era dos computadores iniciada em meados do século XX juntamente com a necessidade cada vez mais crescente de se obterem informações georreferenciadas e organizadas que pudessem ser utilizadas com o fim de resolver problemas principalmente de planejamento e de gestão, deram suporte para que surgissem e se desenvolvessem os sistemas de informação geográfica (SIG). A tecnologia dos SIG pode ser utilizada para recolha, armazenamento, organização e manipulação de dados, assim como em investigações científicas, gestão de recursos, arqueologia, avaliação do impacto ambiental, planificação urbana, cartografia, sociologia, geografia histórica, marketing e logística, para enumerar alguns campos de aplicação.

1.2. Apresentação do problema

Multinational Geospatial Co-production Program (MGCP) ou Programa Multinacional de Co-produção Geoespacial surgiu em 2003 no âmbito das agências nacionais de defesa produtoras de geoinformação. Esse programa tem como objetivo principal mapear áreas de grande interesse mundial com uma resolução espacial compatível com as escalas 1:50.000 e 1:100.000 de acordo com o maior ou menor interesse estratégico da área, a partir da aquisição de dados vetoriais geográficos em plataforma SIG, os quais destinar-se-ão a dar suporte espacial aos órgãos militares de apoio à decisão bem como a missões de interesse público e a ações humanitárias.

As ferramentas SIG utilizadas para geoprocessamento, ao integrar dados do mundo real que podem ser obtidos de diferentes fontes e em formatos diversos, permitem a criação de bases de dados georreferenciados, a realização de complexas análises, etc., pelo que consistem em importantes instrumentos para sua aplicação em projetos de áreas diversas, como na produção de cartografia temática.

A coleta de dados para uma base de dados SIG é uma tarefa muito importante, cara e morosa. E, uma vez que existe uma necessidade contínua de recolha de novos dados espaciais, para ser atingido o objetivo, é de suma importância que a qualidade das imagens com as quais se trabalham sejam as melhores possível (Weng, 2010), a qual depende principalmente da resolução espacial dos sensores.

A busca por imagens de satélites com a referida qualidade tem se tornado um tópico de investigação crescente com o objetivo de serem trabalhadas a determinada escala e com determinado fim. Assim sendo, ao longo das últimas três décadas tem se verificado um aumento de contínuos esforços por parte de algumas comunidades para serem identificadas as imagens as quais possibilitem a realização destes estudos (a exemplo dos que serão sumariamente descritos no item referente ao ‘estado da arte’) com a melhor eficiência e, ao mesmo tempo, com o menor custo possível. Contudo, tal busca é uma tarefa que é dificultada pelo fato de haver novos satélites com possíveis novas características a serem continuamente lançados semestralmente, pelo menos.

Devido aos fatores acima descritos, existe uma preocupação contínua no âmbito do MGCP no sentido de que os trabalhos para o qual tal programa se destina sejam realizados de tal forma eficiente que cumpram atempadamente os objetivos fixados para a produção cartográfica de média escala e lhe

dê em igual tempo a possibilidade de os atualizar. Neste sentido, observa-se a necessidade de se perceber se houve aumento da eficiência nas tarefas de aquisição de dados com a utilização de imagens de mais alta resolução espacial adquiridas por sensores comerciais atualmente existentes à disposição do público em geral.

1.3. Objetivos

Considerando-se a rapidez e a constância das mudanças ocorridas nas sociedades atuais, principalmente as que se apresentam em desenvolvimento, é imprescindível preparar-se de forma a poder responder de modo positivo a essa realidade, pelo que é importante manter todas as informações a seu respeito reunidas, organizadas e atualizadas para permitir a implementação de projetos e tomada de decisões. Assim sendo, este trabalho foca-se na importância dos levantamentos cartográficos diretamente para base de dados, os quais, devido às mudanças em questão, nunca estão terminados e devem sempre acompanhar através do progresso da tecnologia, quando há melhoria significativa nas condições de trabalho e nos resultados.

Na produção cartográfica seja ela de base ou temática, não basta apresentar ao utilizador mapas apenas com boas imagens. É necessário também que tais imagens representem a realidade com o maior rigor e, adicionalmente, com o menor erro posicional possível, para além da simbologia corretamente atribuída. Contudo, para que tais objetivos sejam possíveis com maior facilidade e com a eficiência anteriormente descrita, é necessário que as imagens tenham qualidade adequada a qual é viabilizada principalmente pela resolução dos sensores. Apresenta-se assim, como objetivo concreto verificar se é possível aumentar a eficiência da aquisição de dados pelo uso das imagens pancromáticas ($\approx 0,5\text{m}$ de resolução espacial) e multiespectrais ($\approx 2\text{m}$ de resolução espacial)¹ comerciais provenientes do satélite *WorldView-2* em substituição das imagens do *WorldView-1* ($0,5\text{m}$ de resolução espacial), apenas pancromáticas. Em caso positivo, pretende-se identificar quais as melhorias conseguidas no desenvolver dos trabalhos.

O projeto tem por base um conjunto de dados adquiridos no âmbito de um estágio académico-profissional no Instituto Geográfico do Exército (IGeoE), o qual foi concretizado pela realização de atividades inerentes ao MGCP através da utilização de imagens do satélite *WorldView-2* pré-processadas, pancromáticas e, posteriormente, multiespectrais.

As imagens dizem-se pré-processadas uma vez que foram georreferenciadas em relação ao terreno, retificadas com um Modelo Digital do Terreno (MDT) e referenciadas umas às outras em ambiente *ArcGIS* 10.1 depois de adquiridas pelos sensores dos citados satélites, sendo que tais processos não serão apresentados nas tarefas e análises a serem apresentadas e desenvolvidas neste trabalho.

¹ Em relação à aquisição comercial de imagens produzidas pelo *WorldView-2*, a *Digital Globe* apenas disponibiliza para o público geral imagens com resoluções espaciais redefinidas para 50cm (pancromática) e 2,0m (multiespectral), em cumprimento da lei norte-americana para Detecção Remota que determina tal reamostragem para clientes não-governamentais fora dos EUA (DigitalGlobe, 2013).

O Instituto Geográfico do Exército embora seja uma organização estrangeira em relação a esse país, presta serviços de produção de informações geoespaciais ao seu Governo através das atividades desenvolvidas no âmbito do *Multinational Geographic Co-production Program*, conforme se verá mais à frente. Desta forma, as imagens provenientes do *WorldView-2* têm resolução espacial de 48cm (pancromáticas) e de 1,82m (multiespectrais).

Apesar das resoluções das imagens pancromáticas provenientes dos dois satélites em causa (*WorldView-1* e *WorldView-2*) não serem iguais, trata-se de uma diferença de apenas 2cm. Assim, considerando-se a altitude da órbita do *WorldView-2* (770km), que os satélites em causa possuem características semelhantes, que as imagens foram adquiridas quase todas no mesmo dia, no mesmo instante e pelo mesmo equipamento, tal fato e a origem das imagens não prejudicarão as atividades desenvolvidas para fins das comparações propostas. Pelo contrário, tornará os resultados mais credíveis.

1.4. Estado da Arte

Numa época em que se tem assistido a uma crescente consciencialização por parte dos países no que diz respeito às evidentes fragilidades sociais, ambientais e económicas as quais têm levado os representantes daqueles a ações de regulação e de procura de sustentabilidade, o conhecimento dos recursos e potenciais económicos de um país ou de uma determinada região é um importante aliado para a realização do seu planeamento e gestão pelo que é necessária a recolha de informações que propiciem tal conhecimento e, para isso, a produção cartográfica, seja ela de base ou temática, tem-se mostrado como ferramenta importante nesse processo.

Quando se pensa em aquisição de informação a partir de imagens, pensa-se primeiramente como serão utilizadas tais informações e nos objetivos a atingir. Partindo-se deste princípio, se elas se destinarem à produção de mapas ou cartas, deve-se pensar na escala a representá-las, decidir pela qualidade das imagens a serem utilizadas e, conseqüentemente, sua origem. Assim sendo, há que se considerar as resoluções das imagens, sobretudo a espacial cujo nível de qualidade permite caracterizar a cobertura da superfície da Terra e eventualmente detectar mudanças nessa cobertura, dependendo da densidade de informações a serem adquiridas (Wulder et. Al., 2008). Desta forma, no sentido de facilitar a aquisição de informações em termos de custo, tempo e precisão, vários estudos têm sido realizados em campos diversos aliando técnicas de detecção remota e de processamento de imagens, considerando-se a resolução das imagens a serem utilizadas.

As imagens provenientes de fotografias aéreas são muito importantes ferramentas para a produção cartográfica de base, que pode ser definida como a representação pura de informações adquiridas da superfície terrestre. Contudo, as imagens de satélites têm sido utilizadas mais recentemente para a citada produção (para projetos baseados em SIG), pois o avanço no aumento da resolução temporal, espectral e principalmente espacial dos sensores em satélites tem oferecido melhores condições para a obtenção de informações diversas como, por exemplo, os elementos formadores de uma rede urbana: telhados, passeios, ruas, etc. (Lechui, Filho, & Sousa, 2012).

Grigio (2003) defende que as imagens com tal origem e recorrendo a SIGs, a técnicas de detecção remota e às novas técnicas de processamento de imagens, possibilitam a geração de informações sinópticas e precisas para avaliação de temáticas diversas da superfície terrestre, como a de mudanças geoambientais. Neste sentido, em ambiente SIG ele procedeu à elaboração e análise de mapas recorrendo a dados provenientes de cartas topográficas e principalmente de imagens de satélites (*Landsat 5TM*, *Landsat 7 ETM+* e *SPOT 4 HRVIR*) de períodos diferentes com o principal objetivo de classificar regiões do Município de Guamaré, Rio Grande do Norte, Brasil, quanto ao índice de vulnerabilidade que apresentam em relação aos impactos ambientais sofridos decorrentes de ações naturais e antrópicas, além da pretensão de monitorar o ambiente onde se encontra instalado o Pólo Petrolífero do mesmo município. Tal trabalho permitiu-lhe identificar classes regionais antes inexistentes (carcinicultura, açude e assentamento) e uma grande redução das áreas dedicadas ao cultivo de extração de sal. No decorrer das suas atividades, foram realizados testes de cruzamentos para a criação de mapas de vulnerabilidade a diferentes acidentes representativos das áreas no entorno das instalações de tal Pólo, tendo sido destacadas as que se encontram no raio limite de 200 m de cada lado das pistas de dutos. Da realização deste estudo fica clara a importância das referidas imagens combinadas com diferentes técnicas na avaliação e mapeamento das atividades antrópicas nos meios económicos, culturais e também ambientais de uma determinada região.

Castillejo-González *et al.* (2009) conseguiram demonstrar que, nos dias atuais, as técnicas de detecção remota recorrendo a recursos como fotografias aéreas e imagens de satélites de alta resolução espacial (*QuickBird*) constituem uma fonte fiável na determinação precisa de variáveis florestais e agronómicas, e, assim, importantes aliados na economia de tempo e custos a serem despendidos em trabalhos de mapeamento de áreas com estes tipos de variáveis. Contudo, de acordo com Mallinis *et al.* (2008), imagens captadas por sensores de satélite apresentam menores distorções geométricas do que as provenientes de sensores instalados a bordo de aviões, pelo que aquelas permitem uma produção de mapas mais precisos e detalhados espacialmente.

Nos dias atuais já é possível serem encontrados com alguma facilidade trabalhos de produção

de cartografia que são desenvolvidos com base na resolução dos sensores dos satélites. Com o intuito de facilitar o estudo e monitorização de florestas tropicais em termos de custos e tempo, Gomes *et al.* (2008) realizaram análises baseadas em dados de alta resolução espacial dos sensores dos satélites *Ikonos* (1m) e *Quickbird* (60cm) através das quais obtiveram resultados satisfatórios ao serem identificadas algumas espécies florestais com a utilização de dados do segundo satélite citado.

Com o fim de “estimar a área de três importantes culturas agrícolas (soja, cana-de-açúcar e milho) com diferentes padrões de paisagem no Sudeste Brasileiro”, Soares *et al.* (2008) utilizaram métodos de detecção remota e imagens de satélites com sensores de diferentes resoluções espaciais: *Landsat-7 Enhanced Thematic Mapper plus* (ETM+) com 30m de resolução espacial e *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS)/Terra – bandas 1 e 2 - com 250m de resolução. De acordo com eles, apesar de o *Landsat-7 ETM+* ser adequado para estimar áreas cultivadas, ele apresenta um longo tempo de revisita ou resolução temporal: 16 dias. Tal fator limita a aquisição de imagens livres de nuvens em regiões tropicais em épocas importantes do desenvolvimento da cultura, pelo que optaram pela utilização de imagens de satélites que, apesar de possuírem uma resolução espacial grosseira como o *MODIS*, normalmente apresentam uma cobertura global quase diária (1 a 2 dias). No entanto, em relação às estimativas de áreas proporcionadas pelas imagens do *ETM+*, o *MODIS* superestimou as áreas de cultivo de soja e de cana-de-açúcar, e subestimou as de milho. Além disso, da análise das imagens deste instrumento também ficou evidenciado que, para este fim específico, resoluções espaciais grosseiras podem conduzir a erros de estimativa e desaparecimento de pequenos objetos em limites críticos de resolução. Desta forma, tal estudo e resultados deixam implícita a conclusão de que além da resolução espacial, é de suma importância a temporal para a produção de imagens de determinadas regiões terrestres.

Ponzoni e Rezende (2002) realizaram o procedimento de simulação de imagens de baixa resolução espacial a partir de uma de média resolução (30 m) pela aplicação de filtros, a fim de serem obtidas novas imagens do sensor *TM/Landsat-5* referentes às bandas de *TM1* a *TM5* e *TM7* com 60, 100, 120, 200 e 250 m de resoluções espaciais. Tal procedimento seguido da classificação digital supervisionada, da criação de mapas temáticos e da interpretação visual, teve como objetivo principal avaliar a influência da resolução espacial de imagens na identificação de áreas de floresta, de não-floresta, de capoeira² nova e de capoeira madura no município de Altamira, no Estado brasileiro do Pará. Depois de ser avaliada a exatidão do mapeamento, chegou-se à principal conclusão de que os mapas elaborados a partir de imagens com resolução espacial a partir de 200 m apresentaram ligeira confusão na identificação dos temas e, consequentemente, que a resolução espacial é um dos fatores mais importantes na definição das legendas dos mapas temáticos.

O mapeamento e classificação de reservas florestais naturais são realizações básicas importantes para o desenvolvimento de estudos e ações de manejo e de gestão, como de reintrodução de fauna, de florística e, entre outras, de proteção, recuperação e educação ambiental. Assim, a fim de conhecer as diferentes fases de desenvolvimento florestal, trabalhos têm sido desenvolvidos nesse sentido, como o de Amaral *et al.* (2009) que recorreram a técnicas de detecção remota e a imagens de satélites (*Quickbird*, *IRS-P6* e *CBERS-2*) de diferentes resoluções espaciais e espectrais com o objetivo primeiro de obter classes de mapas representantes das referidas fases, de forma mais objetiva e económica. Deste constatou-se que, pelas técnicas e imagens utilizadas, não foi possível obter mapas representantes de todas as fases de desenvolvimento florestal, mas permitiram um planeamento mais eficiente das ações a serem realizadas na etapa conclusiva, ou seja, na qual as reservas se apresentam no estágio avançado de sucessão florestal³.

Considerando que a obtenção de informações referentes à produção agrícola através de métodos tradicionais como a aplicação de questionários-padrão a produtores, cooperativas e

² ‘Capoeira’ é uma palavra formada da junção dos termos *ka’a* (mata) e *pûer* (que já foi) de origem da língua tupi-guarani, que no português significa mato que nasceu em lugar de vegetação original que foi cortada. Refere-se às áreas do Brasil compostas por vegetação secundária, representada por gramínias e arbustos esparsos.

³ ‘Sucessão florestal’ é a denominação dada ao processo de crescimento de árvores componentes de uma floresta, em lugar de outras anteriormente cortadas/derrubadas.

representantes de órgãos públicos e privados é caro, demorado, muito suscetível a erros de análise humana e pode dificultar a estimativa da precisão dos dados e resultados obtidos (IPPOLITI-RAMILO *et al.*, 1999), Ramirez e Júnior (2010) procuraram obter informações precisas, em tempo útil e a baixo custo sobre a extensão e o rendimento da cultura do café (um dos produtos agrícolas mais importantes para a economia brasileira). Para isso recorreram a técnicas de detecção remota e imagens do satélite *Quickbird* de alta resolução espacial a partir das quais puderam verificar que o uso de imagens com tal resolução permite detectar características biofísicas importantes quando se pretende realizar o acompanhamento de safras de culturas. Como se pode perceber, tais procedimentos têm-se revelado como aliados imprescindíveis quando se pretende um planeamento adequado pela correta integração entre a produção e o mercado (Liu & Liu, 1988).

Sabendo da importância do mapeamento de áreas agrícolas plantadas e da aquisição de informações que possibilitem a geração de estatísticas confiáveis para a regulação dos estoques e dos preços de tais produtos, Rudorff *et al.* (2007) realizaram um trabalho com o fim de avaliar as limitações e o potencial das imagens do *MODIS* no mapeamento de áreas plantadas com soja no Estado brasileiro do Rio Grande do Sul, através do método de classificação de vegetação. Para a realização do mesmo foi utilizado um mapa temático (reamostrado para a resolução espacial das imagens *MODIS*: 250m x 250m) da cultura na referida região, resultante de imagens multitemporais e multispectrais *Landsat 5TM* e *7ETM+*, como referência para auxiliar na orientação da amostragem dos pixels de treinamento para o classificador e na avaliação do resultado da classificação. Utilizando métodos estatísticos para tal avaliação, verificou-se que regiões de latifúndios plantadas com soja foram corretamente identificadas e classificadas. O mesmo classificador se mostrou ineficiente quando se tratou de regiões de minifúndio devido à baixa resolução espacial das imagens do satélite *MODIS*.

Já Portugal (2010) realizou um estudo com o objetivo de verificar a utilidade e o valor da integração de imagens de satélite de alta resolução espacial na produção cartográfica temática (edifícios e vias) a nível municipal pela comparação entre a quantidade dos objetos adquiridos pelos trabalhos de digitalização manual a partir de análise visual de imagem (trabalhos clássicos de produção cartográfica) e a quantidade obtida pela aplicação de técnicas de extração automática de informações geográficas. Contudo, apesar dos seus esforços e de outros técnicos, chegaram-se às conclusões de que apesar de ter obtido resultados da extração automática de elementos adequados, ainda não existem estudos suficientes nem uma metodologia *standard* para os testar e avaliar mais eficazmente. Além disso, também concluiu que, devido à consideração das várias características inerentes a um objeto geográfico, um operador humano tem a capacidade de identificar e extrair com maior exatidão elementos de uma imagem.

Conforme se pôde constatar, até agora só foram brevemente relatados trabalhos que envolvem a utilização de imagens de satélite em escala e resolução variada para a produção cartográfica temática. Em 1998 Rongxing desenvolveu um trabalho a fim de verificar o potencial das imagens de satélite em trabalhos de produção cartográfica, cuja fonte de dados primários de alta resolução, até então, eram as fotografias aéreas. Com a previsão para o lançamento dos satélites *WorldView-1* e *2* que iriam produzir imagens de alta resolução espacial e em maior quantidade proporcionada principalmente pelo seu curto tempo de revisita, além de capacidade estéreo fotogramétrica e a preços mais acessíveis ao público geral prometiam uma realidade que veio para ficar.

Contudo, a utilização de tais imagens em trabalhos voltados para a produção cartográfica de base ainda foi muito pouco explorada. Dentre os raros exemplos, pode-se citar o trabalho desenvolvido em 2003 por Candeias e Silva que utilizaram ortofotocartas digitalizadas do centro da cidade do Recife-PE/Brasil e imagens do satélite *Quickbird* da mesma região com resolução espacial de 70cm com o objetivo principal de propor uma metodologia para realizar uma atualização cartográfica de base pela sobreposição de imagens de satélite com ortofotocartas pré-existentes. Essa metodologia consiste na conversão das ortofotocartas de formato analógico para o digital, pela sua escanização com o número de ‘pontos por polegada’ (dpi) adequado para dar origem a imagens sintéticas com a mesma resolução das provenientes do sensor do satélite *Quickbird*. Posteriormente deve-se proceder à criação de um mosaico com essas imagens; à sobreposição das imagens de satélite com o referido mosaico e, finalmente, à atualização cartográfica pela vetorização dos elementos presentes nas

imagens de satélite e que não constam das ortofotocartas. Como resultado, pela aplicação desta metodologia aliada a processamento digital de imagens e métodos de detecção remota, os responsáveis por tal estudo puderam concluir que a citada atualização cartográfica torna-se mais fácil, mais rápida e consequentemente menos onerosa do que outras até então utilizadas.

Dos vários estudos resumidamente relatados nota-se a importância tanto das técnicas descritas quanto das imagens, principalmente das provenientes de sensores instalados a bordo de satélites, cuja melhoria contínua de características (como as resoluções, por exemplo) permite a aquisição de informações destinadas ao mapeamento e avaliação de atividades antrópicas nos meios económicos, culturais e ambientais e, entre outras, mapeamento, estudo e monitorização de áreas de coberto florestal, agrícolas e de rede urbana com maior rapidez e precisão.

A importância dos inúmeros trabalhos desenvolvidos nesses sentidos é de reconhecimento das comunidades científicas e, entre outras, das governamentais. Contudo, o desenvolvimento das tecnologias aliado ao constante lançamento de satélites tornam indiscutível a necessidade de serem realizadas pesquisas as quais possibilitem de modo mais efetivo a aplicação da detecção remota para apoiar outras metodologias a serem utilizadas em atividades diversas, como por exemplo as voltadas para a aquisição de dados e mapeamento de áreas.

1.5. Organização do trabalho

Nesta brochura encontrar-se-ão descritas todas as atividades desenvolvidas no âmbito da dissertação apresentando-se estruturada em capítulos nos quais será separada a fundamentação teórica dos procedimentos metodológicos adotados.

Deste modo, no capítulo 1 foi feito um enquadramento histórico geral, assim como uma exposição do tema e os principais objetivos que se pretendem alcançar, tendo sido concluído com um enquadramento do problema exposto.

No capítulo 2 serão apresentados alguns fundamentos teóricos genéricos de conceitos e descrição de alguns satélites assim como de suas características mais relevantes para trabalhos de extração de informação geográfica.

No capítulo 3, referente à metodologia proposta, será feito um enquadramento do estudo onde serão apresentados os precedentes que condicionaram o surgimento do MGCP e, consequentemente, deste projeto. Posteriormente proceder-se-á a uma descrição da área de estudo, dos dados a serem utilizados durante a realização das atividades deste trabalho e à apresentação do *workflow* da metodologia adotada, pelo que cada uma das etapas nele citadas será posteriormente devidamente fundamentada e explicitada.

O capítulo 4 será reservado para apresentar uma breve descrição do método de análise adotado, a partir do qual se discutirá sobre os resultados obtidos.

No capítulo 5 apresentar-se-á uma síntese conclusiva das atividades desenvolvidas neste projeto, assim como algumas propostas para estudos que poderão ser desenvolvidos no futuro.

2. Fundamentação Teórica

2.1. Princípios genéricos de detecção remota

Aquisição de informações sobre agricultura, explorações de recursos naturais, construções, cobertura do solo, Cartografia e vigilância e reconhecimento militar entre outros tantos, são alguns dos resultados que se podem obter da realização de observações acerca da superfície da Terra. Contudo, para que tal aconteça de forma a acompanhar as mudanças que ocorrem nos dias atuais, é imprescindível a utilização de um conjunto de práticas conhecido como ‘detecção remota’ (DR). Este pode ser definido como procedimentos que tratam dos métodos da observação e de coleta de informações das superfícies da Terra e da água à distância, utilizando imagens obtidas a partir de uma perspectiva de cima (de sensores instalados em satélites artificiais ou a bordo de aviões, etc.).

A evolução da DR é resultado de um esforço realizado por várias comunidades que abrange avanços nas biociências, na informática, na física, na físico-química, na geociências, na mecânica, etc. O processo de DR envolve uma interação entre a radiação incidente e/ou emitida e os alvos de interesse. A fim de se perceber melhor como este processo funciona, a seguir será descrita de forma genérica a interação dos sete elementos que o compõem do começo ao fim, conforme o descrito por Catalão (2010):

- **fonte de energia ou iluminação** (Sol, sensor ativo ou o próprio alvo) responsável por fornecer energia, radiação ou iluminação para o alvo de interesse;
- **interação da radiação com a atmosfera** ao viajar do alvo para o sensor (ou através do percurso sensor -alvo- sensor ou fonte-alvo-sensor);
- **interação da radiação com o alvo**, dependente das propriedades de ambos;
- **recolha e gravação** da energia/radiação eletromagnética (REM) por um sensor;
- **transmissão** da REM por um sensor para uma estação de **recepção e processamento** responsável por processar os dados e os transformar em imagens impressas ou digitais;
- **interpretação e análise** das imagens processadas por técnicos a fim de serem extraídas informações da área registrada através de imagens e
- **aplicação** das informações extraídas a fim de resolver uma questão em particular.

A DR está primeiramente condicionada à existência de uma fonte de energia que ilumine o alvo (o próprio, o Sol ou sistemas de DR ativos), sendo a radiação eletromagnética proveniente do Sol a mais comumente utilizada neste processo - ou que esta seja emitida pelo próprio alvo, ‘com intensidade e composição espectral dependente da temperatura, que também é usada em DR’ (Fonseca e Fernandes, 2004).

A REM pode ser gerada através da ocorrência de vários mecanismos, como pela aceleração de cargas elétricas, pela deterioração de substâncias radioativas, por mudanças ocorridas nos níveis de energia dos elétrons e pelo movimento térmico dos átomos e moléculas (Campbell, J.; Wynne, R., 2011). Reações nucleares no interior do Sol produzem um espectro de radiação eletromagnética que é transmitida através do espaço sem sofrer grandes alterações, o que permite a obtenção de imagens acerca da superfície da Terra a partir de sistemas de detecção remota.

O espectro eletromagnético (figura 1) representa o intervalo de frequências das ondas eletromagnéticas, cobrindo uma vasta gama de valores que vai de 10^8 Hz (ondas de rádio) a 10^{20} Hz (raios gama). Ele é dividido em subintervalos conhecidos como bandas espectrais as quais servem para classificar a REM.

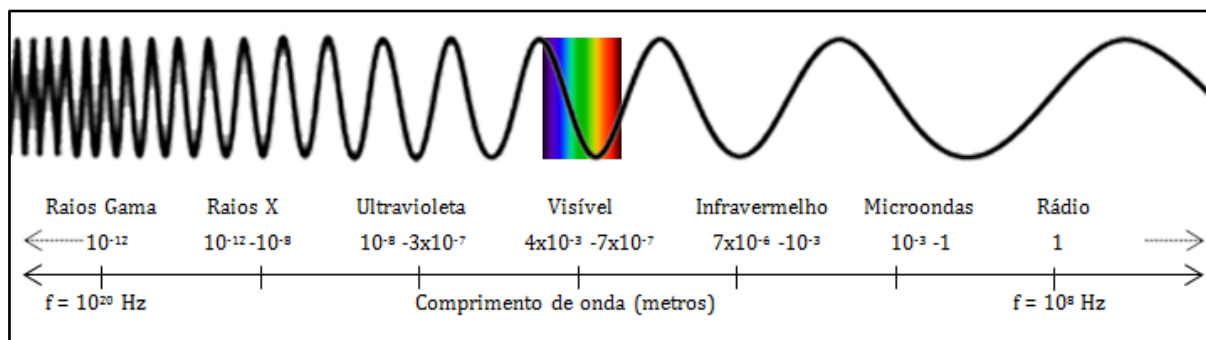


Figura 1: Espectro eletromagnético (Adaptado de Fonseca & Fernandes, 2004)

Humanamente falando, pode-se dizer que as diferenças dos objetos são perceptíveis a partir das cores dos objetos. Em DR, contudo, para captar imagens os sensores dos satélites utilizam radiação eletromagnética em uma ou mais regiões do espectro (sensores multiespectrais), sendo muitas vezes adquirida fora da parte do visível. Assim, as imagens formadas pela captação de REM proveniente de apenas uma banda de frequências do espectro (que inclui a maior parte da radiação da banda do visível) são designadas de **pancromáticas**. E as formadas pela REM de duas ou mais bandas são designadas de imagens **multiespectrais**.

O **comprimento de onda** é inversamente proporcional à **quantidade de energia transportada por ela**. Assim sendo, ‘sensores que funcionam em bandas de comprimento de onda maiores (conhecidos como **sensores de baixa resolução espacial**), como por exemplo as bandas térmicas do satélite Landsat’, necessitam que a REM a ser recebida seja proveniente de um terreno de dimensões maiores a fim de que a quantidade de energia que chegue ao sensor possa ser detectável. Do contrário, os **sensores de alta resolução espacial** funcionam em bandas de comprimento de onda menores como as bandas do visível e infravermelho⁴ próximo (*Near Infrared* - NIR), sendo capazes de detectar a REM proveniente de elementos de terreno de pequenas dimensões.

2.2. Satélites

2.2.1 Tipos de satélites

Chamados de artificiais por serem construídos pelo homem e para os diferenciar de satélites naturais como a lua, por exemplo, esses satélites⁵ são sistemas formados por módulos e criados com diversas finalidades para as quais são postos a orbitar a Terra ou outro planeta a velocidade e altitude constantes (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE).

Devido às centenas de satélites já lançados no espaço pelo homem, torna-se difícil a tarefa de os classificar, pelo que serão apresentadas apenas as principais categorias de acordo com a finalidade das suas atividades.

O tipo de satélite mais conhecido é o que distribui sinais de televisão, telefonia e internet e, por isso, conhecido como de **comunicação**. A maioria dos satélites criados com esta finalidade acompanham o movimento de rotação terrestre (órbita geoestacionária) a uma altitude em cerca de

⁴ As subregiões do infravermelho apresentam REM com comprimentos de onda aproximadamente na ordem:

Infravermelho próximo de 0,7 até 1,3 μ m; Infravermelho médio de 1,3 até 8 μ m e Infravermelho térmico ou afastado de 8 até 14 μ m.

⁵ Palavra derivada de *satelles* ou *satellitit*, originária do latim, que se refere a um “planeta secundário o qual gira em torno de um planeta principal e o acompanha na sua revolução, seguindo-lhe as mesmas leis e gravitando em torno do Sol” (Ferreira, A., 2013).

36.000km estando, desta forma, “parado” sobre o mesmo lugar em relação a um ponto da superfície. Este tipo de satélite consegue servir inúmeros utilizadores de vastas áreas com as suas atividades sem ter que enfrentar barreiras físicas como rios, desertos ou montanhas. A distribuição dos citados sinais é feita por gamas de frequências do espectro para a qual foi criada uma organização – a *International Telecommunication Union (ITU)* - com a função de a normalizar (ONUBR, 2012).

Do “lado oposto da tabela” estão os **satélites de reconhecimento**, cuja capacidade real (de poucos centímetros) pouco se sabe, uma vez que se destinam a atividades militares ou de espionagem, por exemplo. Contudo, sobre este tipo de satélites sabe-se que sua órbita é geralmente do tipo polar (localizada a partir de 200km e podendo ultrapassar os 2.000km de altitude em relação aos pólos) e que grande parte é dotada com câmaras de grandes precisão e resolução espacial e as quais funcionam na banda do infravermelho, o que as possibilitam identificar alvos camuflados ou no escuro (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE). Sobre estes ainda se acredita que constituem cerca de 75% dos satélites lançados em órbita desde finais da década de 1950.

Embora a Rússia e a União Européia tenham seus sistemas de navegação, o Glonass e o Galileo, respectivamente, os **satélites de navegação** (figura 2) mais conhecidos fazem parte de uma constelação - *Global Positioning System (GPS)* - composta por 24 desses equipamentos que orbitam (órbita do tipo semissíncrona – quase circular) ao redor da Terra a uma altitude de 20.200km. O envio de sinais de rádio aliado a uma alta tecnologia eletrônica permitem-nos detectar a posição de um aparelho receptor (parado ou em movimento - figura 2) na superfície ou no espaço aéreo terrestre em tempo real e com um erro posicional de alguns metros apenas.

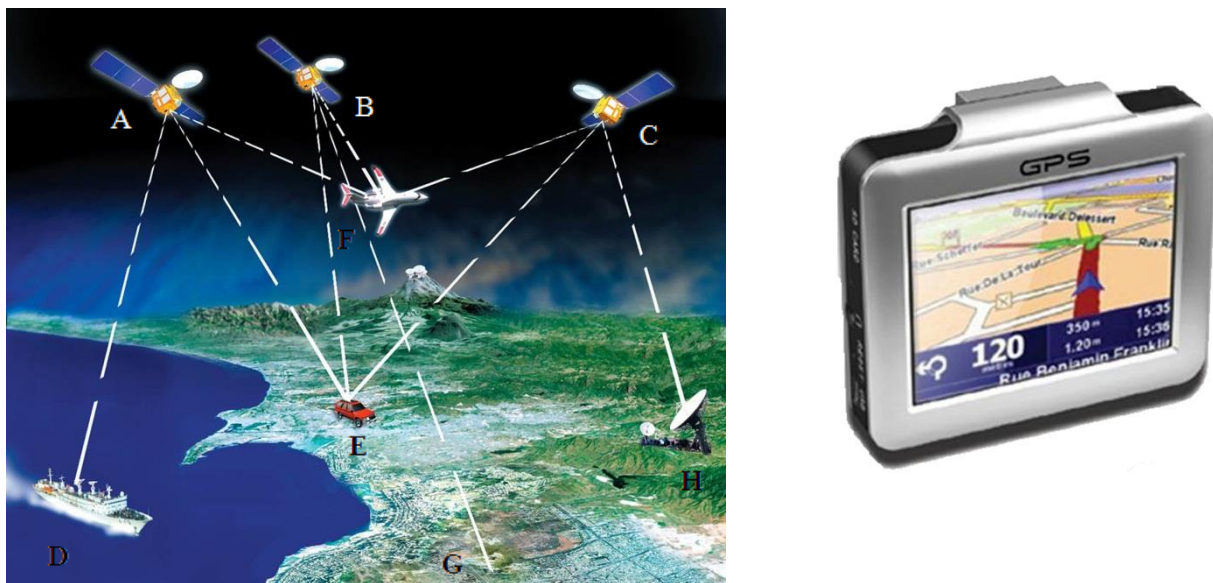


Figura 2: À esquerda: dinâmica do processo de posicionamento realizado pelos satélites de navegação – A, B e C: satélites; D, E e F: aparelhos receptores nas superfícies marítima e terrestre e no espaço aéreo terrestre, respectivamente; G: estação de controlo e H: estação transmissora (adaptado de www.microtechbd.net). À direita: aparelho receptor de sinais rádio (kereta.info)

Para as comunidades científicas em geral, os satélites de maior interesse são justamente os **científicos** que englobam os de exploração do universo ou **astronômicos**, os meteorológicos e os de observação da Terra. Os primeiros desta categoria são os que lavam a bordo telescópios acoplados (o mais conhecido é o Hubble, por exemplo, que está em órbita desde 1990, a aproximadamente 600km de altitude) com fins de realizar observações astronômicas tanto pela captação de REM da banda do visível quanto de outras bandas do espectro sem a interferência da Atmosfera terrestre. Os **satélites meteorológicos** estão em órbita (polar e principalmente geoestacionária) a cerca de 36.000km de altitude e são especialmente projetados para adquirir informações que permitam o monitoramento do

tempo e do clima da Terra. Dentre as muitas que podem ser obtidas estão as da extensão das superfícies cobertas por neve e gelo; as de formação, distribuição e discriminação de nuvens; as de tempestades de raios e de granizos; as de efeitos de poluição; as de quantidade de vapor de água na Atmosfera e sobre as temperaturas superficiais dos mares e oceanos. Os **satélites de observação dos recursos naturais da Terra** são os que estão em órbita (muitos em órbita polar, heliossíncrona) a cerca de 800km de altitude e são talvez os que possuem uma maior gama de aplicações, tendo seus produtos utilizados para coleta de informações acerca da superfície terrestre como distribuição e discriminação de espécies florestais, de tipos de agricultura e de espécies animais e, entre outras, para o mapeamento geográfico.

2.2.2 Os sistemas sensores e as resoluções

Neste tópico vale diferenciar **detecção passiva** da ativa, sendo aquela realizada por sistemas de DR que apenas registam e medem a REM (proveniente principalmente da energia solar) quando é emitida, refletida ou reemitida em quantidade suficiente que permita sua captação, o que, por isso, seu funcionamento está muito limitado ao período diurno quando há maior quantidade dessa energia⁶. Já a **detecção ativa** o é pelos sistemas detentores de fonte de iluminação própria o que acaba por ser uma vantagem destes em relação aos primeiros uma vez que seu funcionamento pode ser efetuado a qualquer hora.

Estudos de qualquer imagem obtida por DR, em última análise, depende da detecção das diferenças no brilho e das características dos objetos. Se por um lado a cena deve apresentar contraste suficiente de brilhos, por outro o instrumento de detecção remota deve ser capaz de gravar este contraste, antes que a informação possa ser extraída a partir da imagem. Como resultado, a sensibilidade do instrumento e o contraste existente entre objetos são sempre questões de importância em trabalhos de investigações de DR, principalmente quando se utilizam apenas imagens pancromáticas em tais atividades.

Dado serem imprescindíveis as resoluções dos sensores em DR e para o trabalho em questão, é de suma importância a sua definição que está dividida em 4 classes: radiométrica, espectral, espacial e temporal.

O conceito de **resolução radiométrica** está relacionada com o nível de quantização ou sensibilidade que o sensor tem em detectar pequenas variações radiométricas, ou seja, em detectar diferenças de intensidades de tons de cinza entre objetos. A resolução radiométrica define o número total de níveis de cinzento que uma imagem pode ter, pelo número 'n' de *Binary digiTs* (bits), através de uma potência de 2 (2^n bits).

Outra definição importante é a de **resolução espectral** que caracteriza a capacidade do sensor em detectar REM de apenas uma ou de várias bandas espectrais. Os sensores conhecidos como hiperspectrais são os que operam em centenas de bandas espectrais.

Os sensores podem medir a menor distância angular ou linear entre dois ou mais objetos, a qual é conhecida como **resolução espacial**. Assim, pode-se afirmar que o poder de resolução é a capacidade de diferenciar pela forma, cor, tamanho, etc., dois objetos próximos na superfície terrestre.

Porém, cada sensor é limitado no que diz respeito ao tamanho da menor área da superfície terrestre que pode ser, em separado, identificada e registrada como uma entidade. Numa imagem digital, essa área mínima, conhecida como pixel⁷, determina a finura dos padrões, ou seja, o **detalhe espacial** na imagem. Tal detalhe, além de ser influenciado pela citada capacidade do sensor, também o é pela *altitude* na qual ele é posto para gravar imagens da Terra. Note-se que paisagens variam

⁶ As melhores imagens são obtidas quando o Sol está no seu pico em determinada área, o que geralmente ocorre ao meio dia.

⁷ O tamanho do pixel e a resolução espacial nem sempre são iguais. É possível apresentar uma imagem cujo tamanho do pixel difere dessa resolução (Canada Centre for Remote Sensing, 2007).

grandemente na sua complexidade espacial, sendo que algumas podem ser representadas claramente em níveis grosseiros de detalhes, enquanto outras são tão complexas que o melhor nível de detalhe é necessário para gravar suas características essenciais. Assim, de um modo geral, quanto melhor a resolução, menor área da superfície terrestre que pode ser vista por um sensor.

O *Instantaneous field of view* ou “campo de vista instantânea” (IFOV) é uma medida relativa, uma vez que se trata de um ângulo, e não de um comprimento. É o campo de vista angular do sensor e determina a área que pode ser “vista” instantaneamente em determinado momento e altitude. O IFOV torna-se importante basicamente por dois motivos:

- i. participa da determinação do tamanho da área visualizada ao ser multiplicado pela distância do solo até o sensor (H). Esta área do terreno determina a máxima resolução espacial de um sensor e é conhecida por **célula de resolução** - CR (Canada Centre for Remote Sensing, 2007):

$$CR = IFOV \cdot H$$

- ii. participa da composição de um outro conceito crucial para este trabalho conforme poderá se verificar mais à frente, que é o de *Ground-projected instantaneous field of view* (GIFOV) ou “campo de vista instantânea projetado”, também conhecido como *Ground Sample Distance* (GSD) ou “distância de amostra de campo”, que depende da altura e é dada pela seguinte equação:

$$GIFOV = 2 H \tan \left(\frac{IFOV}{2} \right)$$

GIFOV ou GSD numa imagem digital é a distância entre os centros de dois pixels adjacentes medidos no chão. Assim, numa imagem com 1m de GSD, a distância entre os centros dos pixels representa 1m de distância no chão.

Embora uma única imagem possa facilmente representar o valor de imagens para DR, a sua eficácia é melhor demonstrada através do uso de várias imagens da mesma região ou de uma entidade adquiridas ao longo do tempo. Assim, ao tempo no qual o sensor leva para revisitar um mesmo ponto da superfície terrestre, a partir de um mesmo ângulo de visão, dá-se o nome de **resolução temporal**. Este conceito adquiriu maior valor quando os sistemas de satélite puderam observar sistematicamente as mesmas regiões de forma repetitiva. Essas sequências posteriores, adquiridas pelas mesmas plataformas e utilizando os mesmos instrumentos em condições comparáveis, têm oferecido a possibilidade de se explorar plenamente a dimensão temporal dos dados adquiridos por DR.

Uma vez que nos dias atuais os trabalhos desenvolvidos nos âmbitos da Cartografia, da DR, de SIG, etc., são quase na sua totalidade suportados por imagens originárias dos satélites orbitais, a seguir apresentar-se-á uma descrição genérica de algumas séries destes, especificamente dos satélites de observação dos recursos naturais da Terra dos quais focar-se-ão as características mais importantes para o trabalho em questão.

2.2.3 Séries orbitais espaciais - satélites de observação dos recursos naturais da Terra

2.2.3.1 - Landsat

Mesmo tendo encontrado entraves⁸ para colocar satélites de observação da Terra em órbita, a era moderna de várias disciplinas foi tornada possível desde 1972 com o lançamento do primeiro satélite *Landsat Multispectral Scanner System* (MSS) pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA). Como produto este satélite forneceu à então comunidade científica mundial mais de 300.000 imagens consistentes em grande escala e de média resolução voltadas exclusivamente à observação dos recursos naturais terrestres, superando em muito as expectativas iniciais. O sensor deste satélite apresentava a possibilidade de registrar simultaneamente quatro bandas espectrais, cada uma com 100nm de largura, como característica principal.

Depois do primeiro, mais seis outros satélites da série Landsat foram lançados, entre os quais podem ser observadas semelhanças e diferenças técnicas (tabela 1). Os três primeiros deles operavam com o sensor *Return Beam Vidicon* (RBV) que foi usado essencialmente para fins de avaliação de engenharia e o *Multispectral Scanner System* (MSS) para fins cartográficos em áreas remotas, dos quais se destacou o RBV do Landsat 3 por ter apresentado uma melhor resolução espacial (40m) em relação aos seus antecessores. Além desta semelhança, chama-se a atenção para a da resolução temporal de (18 dias) e uma faixa de visada de 185km, sendo recortada em imagens de 185km x 170km. O Landsat 7 opera com o sensor *Thematic Mapper Plus* (TM+) que, além de reproduzir as capacidades do *Landsat 4 Thematic Mapper* (TM), ele se apresenta como um instrumento mais versátil e eficiente para aplicações diversas do estudo da Terra por incluir recursos adicionais, conforme dados da tabela 1, como: banda 8 pancromática com resolução espacial de 15m; um canal *Thermal Infrared* (TIR) ou “infravermelho térmico” com resolução espacial de 60m e um gravador de dados a bordo. Além disso, na maioria das bandas dedicadas a imagens multiespectrais, a resolução espacial é de 30m.

Esse satélite foi considerado “o mais estável instrumento de observação da Terra já colocado em órbita” e, uma vez que as suas medições são extremamente precisas quando comparadas com as feitas no terreno, o mais calibrado satélite de observação da Terra. Assim sendo, os rigorosos padrões de calibração usados no Landsat 7 fizeram-no ser escolhido como base de validação para muitos sensores de resoluções média e grosseira (NASA, 2013). Sucedendo o trabalho dos satélites desta série, o Landsat 7, em 2012, completou 40 anos de aquisição remota de dados realizada de forma sistemática, dando continuidade ao banco de imagens espectrais da Terra iniciado pelo Landsat 4 TM o que, por sua vez, proporcionou a detecção de mudanças terrestres consistentes pelas mesmas bandas espectrais.

Com o fim de dar continuidade a esses trabalhos foi lançado no dia 11 de fevereiro de 2013 o *Landsat Data Continuity Mission* (LDCM) com os sensores *Operational Land Imager* (OLI) e *Thermal Infrared Sensor* (TIRS), ambos com uma resolução radiométrica de 12 bits. O sensor OLI está a coletar dados das bandas do visível, do NIR e de ondas curtas das bandas espectrais infravermelhas (*short-wave infrared* - SWIR), todos com 30m de resolução espacial, bem como de uma banda pancromática com 15m desta resolução. Já o TIRS coleta dados de duas bandas espectrais mais estreitas na região térmica (TIR1 e TIR2) com resolução espacial de 100m.

Em relação ao ETM+, o OLI apresenta mais duas bandas espectrais, sendo uma adaptada especialmente para a detecção de nuvens cirrus e a outra para observações da zona costeira. Além do mais, o LDCM é capaz de registrar 400 imagens por dia para o arquivo de dados (150 mais que o Landsat 7), avanço importante o qual aumenta a probabilidade de capturar imagens livres de nuvens, de média resolução espacial e completamente gratuitas. Contudo, uma desvantagem do sensor desta

⁸ O programa Landsat foi criado nos Estados Unidos onde encontrou oposição do seu Bureau de Orçamento e Departamento de Defesa o qual tinha preocupações ‘geopolíticas’ sobre fotografar países estrangeiros sem permissão e temia que um programa civil como o Landsat comprometesse o sigilo de suas missões de reconhecimento.

série em relação a outros mais atuais consiste na capacidade de visão, que foi possível apenas no nadir.

2.2.3.2 - Spot

Ainda na década de 1970 a agência espacial francesa “*Centre national d’études spatiales*” (CNES) iniciou juntamente com os “*Belgian scientific, technical and cultural services*” (SSTC) e com o “*Swedish National Space Board*” (SNSB) um projeto para explorar os recursos da Terra, detectar e prever fenômenos climatológicos e oceanográficos e monitorar as atividades humanas e fenômenos naturais. Tal projeto ficou conhecido como *Sistema de Observação da Terra* ou, na sua língua materna, “*Système Pour l’Observation de la Terre*” (SPOT), o qual deu origem a outra série de satélites de recursos para controle, programação, produção e distribuição de imagens da superfície terrestre (ASTRIUM, 2013).

Os três primeiros satélites (primeira geração) desta série eram idênticos. Seus sensores, conhecidos como *High Resolution Visible* (HRV), tinham a capacidade de registrar REM em dois modos espectrais obtendo imagens pancromáticas com resolução espacial de 10m e multiespectrais Green (G), Red (R) e NIR com 20m de tal resolução.

A segunda geração é representada pelo SPOT 4. Este operou com dois sensores sendo um do visível e outro do infravermelho, de alta-resolução: *High Resolution Visible-Infrared* (HRV-IR), semelhantes aos HRVs anteriores. Os dois sensores, que podem operar de modo independente tanto no modo espectral como na geometria de visada, quando trabalham em combinado registrando áreas contíguas, conseguem cobrir 117km de largura de terreno (figura 3A). Isto porque cada um deles possui uma faixa de varredura de 60km de largura e, com 3km de sobreposição das imagens, chega-se ao citado valor.

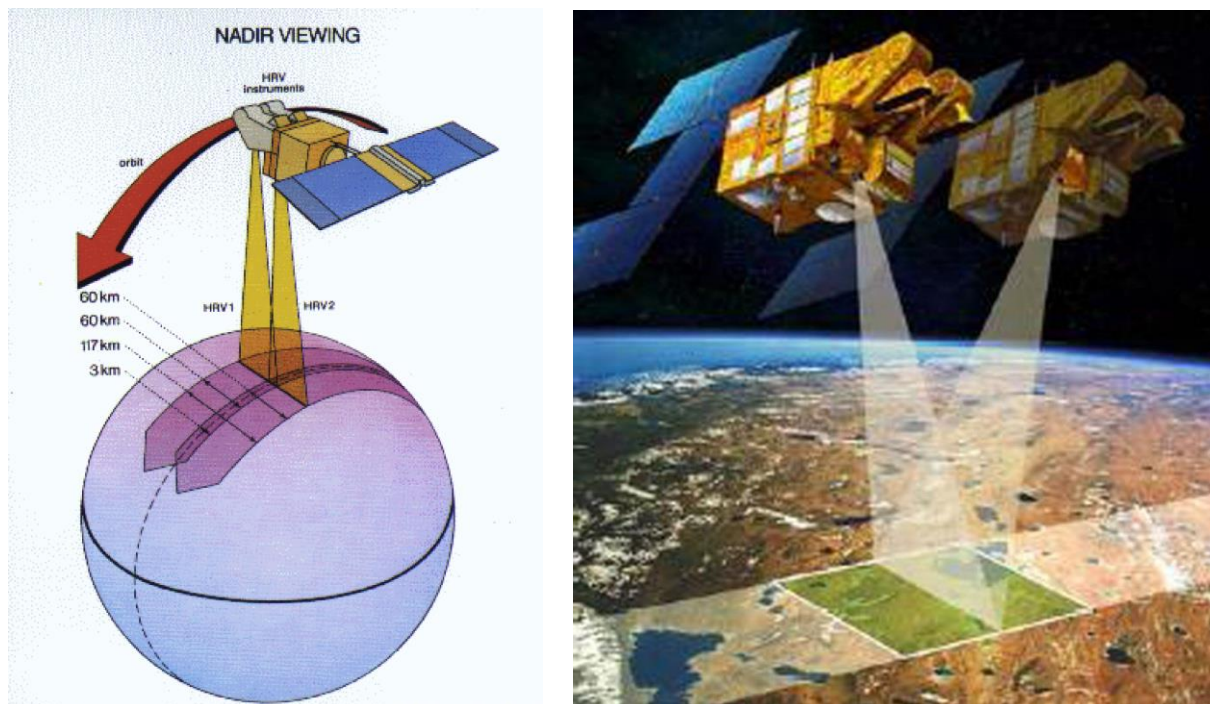


Figura 3: Instrumentos HRVs trabalhando em modo combinado. **A:** à esquerda, ilustração das faixas contíguas cobertas. **B:** à direita, ilustração da cobertura de determinada área através de dois ângulos de visada (ASTRIUM, 2013)

Esses sensores podem operar em direção ao nadir ou a outras áreas de interesse desde que estejam dentro de uma porção de área coberta por um ângulo de 27° em relação à vertical do plano orbital do satélite, formado por um espelho a bordo do mesmo que pode ser orientado para leste ou

oeste aumentando, assim, o campo de visada para até 420km (figura 4). Tal característica é muito importante uma vez que aumenta a capacidade de revisita de uma área de interesse dentro de alguns dias em vez dos 26 dias concernentes à periodocidade da órbita do satélite, além de possibilitar a obtenção de imagens estereoscópicas (figura 3B).

Contudo, o principal avanço em relação à geração anterior foi a operação com o *Vegetation Sensor* que permitiu a captação de REM de quatro bandas espectrais e, consequentemente, o acompanhamento contínuo de vegetação em qualquer parte do globo. As imagens pancromáticas captadas apresentam uma resolução espacial de 10m, as multiespectrais, de 20m e as do sensor de vegetação, de 1000m.

A grande novidade do SPOT 5 (terceira geração) em relação ao seu antecessor é a resolução das imagens (pancromáticas de 5m a 2,5m ‘*supermode*’ e multiespectrais de 10m) resultantes do trabalho dos seus dois novos sensores *High Resolution Geometric* (HRG) adaptados do HRV-IR. Estes ainda apresentam um potencial de registrar REM da porção do infravermelho médio que dá origem a imagens de 20m de resolução espacial.

Além desses instrumentos, o SPOT 5 ainda opera com dois sensores *High Resolution Stereoscopic* (HRS) cujos telescópios (dois) trabalham de modo semelhante ao realizado pelos HRV-IR, permitindo uma visão de 20° para a frente e para trás em modo silmutâneo (figura 4) e a origem de imagens pancromáticas que possibilitam a formação de pares estereoscópicos e com boa precisão altimétrica (5-10m relativa e absoluta de 10-15m) para a formação de Modelos Digitais de Elevação (MDE) com uma precisão de 10m. Além disso, houve uma melhora da precisão posicional tanto dos produtos (corrigidos sistematicamente) quanto da órbita, passando a 50m contra os 350m apresentada pelos antecessores.

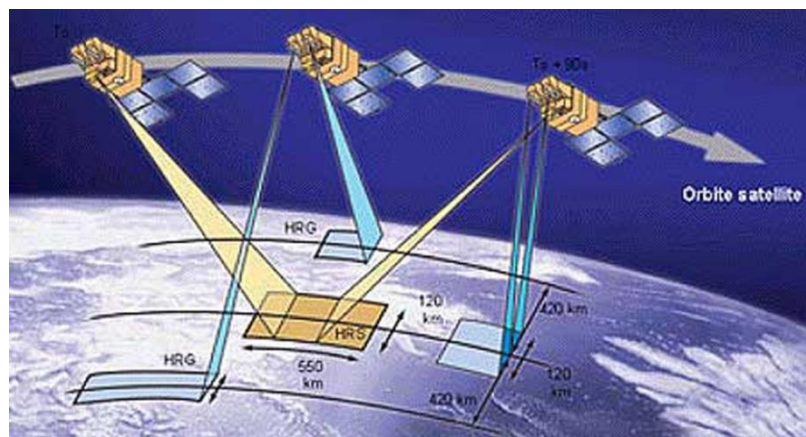


Figura 4: Ilustração dos instrumentos HRG e HRS trabalhando em modo combinado, em determinada área, através de vários ângulos de visada (ASTRIUM, 2013)

Concebidos para operarem juntos e proporcionar a continuidade de imagens de alta resolução e com resolução temporal diária, o SPOT 6 fará parte de uma constelação de satélites juntamente com o SPOT 7 quando este for posto em órbita, provavelmente em 2014. O primeiro, semelhante aos antecessores, apresenta uma pegada de 60km x 60km e resolução temporal de 1 a 3 dias dependendo da latitude. A melhoria em relação ao SPOT 5 está na resolução espacial da pancromática de 1,5m e multiespectral de 8m, sendo que existe a possibilidade de serem obtidas imagens com resolução de 1,5m da união de cores, conforme as necessidades dos clientes. Também houve uma melhoria da precisão posicional da órbita (35m com 90% de confiança) e da resolução radiométrica de 12 bits (10 bits úteis) contra 8 bits das gerações anteriores. De um modo geral, essas características possibilitam que as imagens do SPOT 6 sejam utilizadas para aplicações em escalas de 1:100.000 e 1:15.000m.

Outra característica tecnológica importante inovada e mantida por esta série de satélites é a substituição de um *scanner* com partes móveis, que pode degradar a qualidade das imagens com o

envelhecimento do satélite, por sensores eletrônicos que usam a tecnologia *Charged Couple Device* (CCD) a qual torna possível maior exatidão geométrica das imagens captadas.

Em relação ao LDCM da série Landsat, o Spot 6 apresenta algumas vantagens como uma melhor resolução espacial, sendo de 8m para as imagens multiespectrais e de 1,5m para as pancromáticas além de tornar possível a aquisição de imagens resultantes da união de cores com 1,5m contra 30m e 15m, respectivamente e um menor período de revisita que é de 1 a 3 dias (dependendo da latitude) contra 16 dias. Contudo, em relação à primeira série de satélites citada, uma desvantagem importante para muitos usuários é o fato de as imagens não serem gratuitas, tendo atualmente um custo mínimo de € 0,30 por km².

2.2.3.3 – Quickbird

Lançado em 18 de outubro de 2001, este foi o primeiro satélite comercial da empresa norte-americana *Digital Globe*, sendo, à época, o de resolução espacial mais elevada em funcionamento. O Quickbird II faz parte de um sistema de detecção remota de alta resolução conhecido como *Ball's Global Imaging System 2000* (BGIS 2000), que foi criado com o fim de suprir as necessidades mais exigentes neste ramo (Satellite Imaging Corporation, 2013).

Tal sistema é formado por uma nave espacial - *Ball Commercial Platform 2000* (BCP 2000) – e por um sensor de alta resolução: *Ball High Resolution Camera 60* (BHRC 60). Esta câmera está programada para captar imagens da Terra durante os períodos diurnos. Tais imagens podem ser pancromáticas e estereoscópicas multiespectrais, com resolução espacial de 61cm (GSD no nadir) a 72cm (25° off-nadir) e de 2,44m (GSD no nadir) a 2,88m (25° off-nadir), respectivamente. Com o fim de dar “continuidade” aos trabalhos realizados pela série Landsat, o BGIS 2000 fornece as mesmas quatro bandas multiespectrais que as primeiras da citada série.

Esse satélite, apesar do seu já amplo campo de visão, também dá a possibilidade de serem adquiridas imagens de um determinado território de interesse do cliente pelo seu rápido redirecionamento e ainda a de formar mosaicos para o mapeamento de áreas com maiores extensões, sendo tudo realizado dentro da mesma passagem orbital.

Ele apresenta uma pegada de 16,8km x 16,8km, uma resolução espectral de 11bits e um período de revisita de no máximo 3,5 dias. Além disso, oferece uma geolocalização precisa de aproximadamente 23m na horizontal e 17m na vertical, sem pontos de controlo, possibilitado pelo uso combinado de dados de um rastreador em estrela que permite o posicionamento por três eixos e de GPS (DigitalGlobe, 2013).

Devido às suas excelentes características técnicas, as imagens desse satélite têm uma aplicação geoespacial variada, podendo ser utilizadas em projetos de planeamento agrícola e urbano, em aplicações cartográficas e, entre outras, em investigações militares.

2.2.3.4 – WorldView

Lançado em 2007, o *WorldView-1* é o primeiro da mais nova constelação de satélites lançada pela *Digital Globe*, tendo suas operações completadas pela do *World View-2*, que foi lançado apenas dois anos mais tarde. Se houve pouca diferença entre as datas de lançamento em órbita desses dois satélites, as poucas ocorridas nas suas características técnicas podem ser muito significativas dependendo do propósito no qual vão ser utilizadas.

Dentre as semelhanças está a de operarem em órbita sol-síncrona, numa inclinação aproximada de 45° off-nadir. Além disso, outras podem ser destacadas como o ângulo de visão de 20° off-nadir e, visto suportarem 2.199 Gbits de armazenamento *on-board*, possuem uma capacidade de detectar por dia mais de um milhão de km² de imagens com uma resolução radiométrica de 11 bits.

O primeiro, operando a uma altitude de 496km, apresenta uma pegada de 17,7km x 17,7km no nadir e é capaz de oferecer apenas imagens pancromáticas com uma resolução espacial muito alta: 50cm (GSD) no nadir e 55cm (GSD) a 20° off-nadir. Sua capacidade de revisita é em média de 1,7 dias no nadir e de 5,4 dias a 20° off-nadir. Além do mais, é equipado com recursos de precisão de geolocalização os quais possibilitam-no, com 90% de confiança, apresentar uma precisão inferior a 4m na horizontal, sem pontos de controlo.

Já o segundo desta série foi posto em órbita numa altitude mais elevada, de 770km, e com uma pegada de 16,4km x 14km no nadir. Além de oferecer imagens pancromáticas, também oferece multiespectrais (8 bandas) com resoluções espaciais mais elevadas, de 46cm (GSD) no nadir e 52cm (GSD) a 20° off-nadir e de 1,85m (GSD) no nadir; 2,07m (GSD) a 20° off-nadir, respectivamente. Em relação ao de seu “irmão mais velho”, apresenta um tempo de revisita menor, sendo de 1,1 dias no nadir e 3,7 dias a 20° off-nadir. E oferece melhor precisão da localização: inferior a 5m na horizontal, sem pontos de controlo, com 90% de confiança.

Em relação à aquisição comercial de imagens produzidas pelo *WorldView-2* conforme dito anteriormente, a *Digital Globe* apenas disponibiliza para o público geral imagens com resoluções espaciais redefinidas (Updike & Comp., 2010) para 50cm (pancromática) e 2,0m (multiespectral), em cumprimento da lei norte-americana para DR que determina tal reamostragem para clientes não-governamentais fora dos EUA (DigitalGlobe, 2013). De qualquer forma, apesar de seus produtos (assim como os demais oferecidos pela *Digital Globe*) terem um custo elevado (US\$ 16,00 ou € 12,00 por km², atualmente), esse satélite apresenta algumas importantes vantagens em relação aos produtos oferecidos por outros instrumentos como a melhor precisão em termos de geolocalização, revisitas frequentes em alta resolução e oferece a maior diversidade espectral comercialmente disponível nos dias atuais.

Essa última vantagem consiste numa questão muito importante em trabalhos de mapeamento e, entre outros, os que envolvem técnicas de DR, uma vez que as diferentes bandas espectrais apresentam entre si características distintas e, por isso, aplicações também distintas. Isto porque, como já visto anteriormente, a REM reage com os alvos de forma diferente de acordo com suas características e de acordo com as propriedades físico-químicas dos objetos. Como exemplo pode ser citada a Banda 1 do Landsat 5 TM, com intervalo espectral de 0,45 a 0,52μm, que permite considerável penetração em corpos de água os quais apresentam elevada transparência, permitindo, assim, sua aplicação em investigações batimétricas. Outras características da REM desta banda é a sua sensibilidade a plumas de fumaça geradas por atividades industriais ou queimadas e a susceptibilidade de ser absorvida pela clorofila (EngeSat, 2006).

Tabela 1: Características técnicas genéricas dos sensores da série Landsat; s.d.: sem dados

	Landsat 1, 2 e 3	Landsat 4 e 5	Landsat 6	Landsat 7	LDCM
Lançamento:	Landsat 1: 23 de julho de 1972 Landsat 2: 22 de janeiro de 1975 Landsat 3: 5 de março de 1978	Landsat 4: 16 de julho de 1982 Landsat 5: 1 março de 1984	05 de outubro de 1993	15 de abril de 1999	11 de fevereiro de 2013
Status:	Landsat 1: expirado, 06 de janeiro de 1978 Landsat 2: expirado, 05 de fevereiro de 1982 Landsat 3: expirado, 31 de março de 1983	Landsat 4: desativado, 15 de junho de 2001 Landsat 5: TM ainda operacional! Instrumento MSS desativado	perdido no lançamento	operacional, apesar de digitalização Linha Corrector (SLC) falha 31 de maio de 2003	operacional
Sensores:	RBV, MSS	TM, MSS	ETM	ETM +	OLI, TIRS
Altitude:	917km	705km		705km	705km
Inclinação:	99,2°	98,2°		98,2°	98,2°
Orbita:	Quase polar, circular, sol-síncrona	Quase polar, circular, sol-síncrona		Quase polar, circular, sol-síncrona	Quase polar, circular, sol-síncrona
Tempo de travessia Equatorial:	nominalmente 09:42 hora local (descendente do nó)	nominalmente 09h45 (± 15 min), hora local (descendente do nó)		nominalmente 10:00 (± 15 min.), hora local (descendente do nó)	nominalmente 09:45 (± 15 min.), hora local (descendente do nó)
Faixa de visada:	185km	185km		183km	185km
Período de revolução:	103 minutos; $\cong 14$ órbitas/dia	99 minutos; $\cong 14,5$ órbitas/dia		99 minutos; $\cong 14,5$ órbitas/dia	98,9 minutos; $\cong 14,9$ órbitas/dia
Precisão da localização:	s.d.	s.d.		s.d.	OLI: 12m (90% confiança); TIRS: 41m (90% confiança)
Resolução temporal/ Período de revisita:	18 dias	16 dias		16 dias	16 dias
Resolução espacial:	Landsat 1 e 2: RBV: 80m; MSS: 80m Landsat 3: RBV: 40m; MSS: 80m	MSS: 80m; TM: Bandas 1-5 e 7: 30m; Banda 6 (IR térmica): 120m		TM+: Banda 8, pancromática: 15m; Bandas 1-5 e 7: 30m; Banda 6 (IR térmica): 60m	OLI: Banda 8, (pancromática): 15m; Bandas 1-7 e 9 (visível, NIR, MIR): 30m; TIRS: Bandas 10 e 11 (térmico): recolhida a 100m (reamostrada para 30m para combinar com as bandas multiespectrais OLI)

Resolução espectral μm:	Landsat 1 e 2: RBV: 0,48 a 0,83 MSS: 0,5 a 1,1 Landsat 3: RBV: 0,5 a 0,75 (única banda); MSS: 0,5 a 12,6	TM: 0,52 a 4 MSS: 0,5 a 1,1		ETM+: 0,45 a 12,5 (multiespectral) 0,5 a 9 (pancromática)	OLI: 0,43 a 2,3 (multiespectral) 0,488 a 0,693 (pancromática) TIRS: 10,6 a 11,2 (TIR1) 11,5 a 12,5 (TIR2)
Resolução radiométrica:	MSS: 27 bits; RBV: 27 bits	MSS: 27 bits; TM: 28 bits		ETM+: 28 bits	OLI: 2¹² bits

Tabela 2: Características técnicas genéricas dos sensores da série SPOT

	SPOT 1, 2 e 3	SPOT 4	SPOT 4 (Take 5)	SPOT 5	SPOT 6
Data de Lançamento:	Spot 1: 22 de fevereiro de 1986 Spot 2: 22 de janeiro de 1990 Spot 3: 26 de setembro de 1993	24 de março de 1998	29 de janeiro de 2013	04 de maio de 2002	09 de setembro de 2012
Status:	Spot 1: expirado, 31 de dezembro Spot 2: expirado, julho de 2009 Spot 3: expirado, 14 de novembro de 1997, devido a problemas de estabilização	Parou operações de rotina em 11 de janeiro de 2013		ativo	ativo
Sensores:	HRV	HRV; IR e vegetação		2 x HRG, 2 x HRS; DORIS e Vegetation	2 x NAOMI
Altitude:	822km	832km		832km	694km
Inclinação:	98,7°	98,8°		98,7°	98,2°
Orbita:	quase polar, circular, sol-síncrona	quase polar, circular, sol-síncrona		polar, circular, sol-síncrona	polar, circular, sol-síncrona
Horário de travessia equatorial:	10h30, hora local (descendente do nó)	10h30, hora local (descendente do nó)		10h30, hora local (descendente do nó)	10h00, hora local (descendente do nó).
Período de revolução:	Duração de 1 órbita (nominal): (\cong 101,82 min) \cong 14,14 órbitas/dia	Duração de 1 órbita (nominal): \cong 101,05 min \cong 14,11 órbitas/dia		Duração de 1 órbita (nominal): \cong 101,4 min \cong 14,11 órbitas/dia	Duração de 1 órbita (nominal): \cong 92,12 min \cong 14,53 órbitas/dia
Resolução temporal	26 dias	26 dias		26 dias	26 dias
Período de revisita:	1-4 dias, dependendo da latitude	3 - 4 dias	5 dias	1 – 3 dias	1 – 3 dias, dependendo da latitude; 1 dia, em conjunto com SPOT 7
Pegada:	60km x 60km	60km x 60km		HRS: 120km x 600km Vegetação: 2250km	60km x 60km
Capacidade de gravação a bordo:	2 x 22 minutos; 2 x 60 Gbits	2 x 40 minutos; 2 x 120 Gbits + 9 Gbits de memória estado sólido		90 Gbits estado de memória estado sólido	850 Gbit, com tecnologia Flash
Precisão da localização:	\cong 350m (90% de confiança)	\cong 350m (90% de confiança)		\cong 50m (90% de confiança)	\cong 35m (90% de confiança)

Resolução espacial:	Pancromática: 10m; Multiespectral: 20m	Pancromática: 10m; Multiespectral: 20m Vegetação: 1000m		Pancromática: 2,5 e 5m; Multiespectral: 10m IR Médio: 20m Vegetação 2: 1000m	Pancromática: 1,5m; Multiespectral: 8m (união de cores: 1,5m)
Resolução espectral µm:	0,5 a 0,59 (G); 0,61 a 0,68 (R); 0,79 a 0,89 (IR); 0,51 a 0,73 (PAN)	0,5 a 0,59 (G) 0,61 a 0,68 (R) 0,78 a 0,89 (NIR) 1,58 a 1,75 (MIR) 0,61 a 0,68 (PAN) Vegetação: 0,61 a 0,68 (R) 0,43 a 0,47 (B) 0,78 a 0,89 (IR) 1,58 a 1,75 (MIR)		0,61 a 0,68 (R) 0,5 a 0,59 (G) 0,51 a 0,73 (PAN) 0,78 a 0,89 (NIR) 1,58 a 1,75 (MIR) Vegetação: 0,61 a 0,68 (R) 0,43 a 0,47 (B) 0,78 a 0,89 (IR) 1,58 a 1,75 (MIR)	0,45 a 0,52 (B) 0,53 a 0,59 (G) 0,62 a 0,69 (R) 0,76 a 0,89 (NIR) 0,45 a 0,75 (PAN)
Resolução radiométrica:	2 ⁸ bits	2 ⁸ bits		2 ⁸ bits	2 ¹² bits (2 ¹⁰ bits úteis)

Tabela 3: Características técnicas genéricas dos sensores do satélite Quickbird II

Quickbird II		
Data de Lançamento:	18 de outubro de 2001	
Status:	operacional	
Sensor:	Ball Global Imaging System 2000 (BGIS 2000)	
Altitude:	Rebaixado de 482km para 450km	
Inclinação:	97,2°	
Orbita:	Quase polar, sol-síncrona	
Horário de travessia equatorial:	10h00, hora local (descendente do nó).	
Pegada:	16,8km x 16,8km no nadir	
Período de revolução:	Duração de 1 órbita (nominal): (\pm 94,2 min)	
Período de revisita:	Máximo de 2,5 dias no nadir (1m GSD) 5,6 dias a 20° off-nadir ou menos	
Resolução temporal:	1 a 3,5 dias dependendo da latitude	
Capacidade de gravação a bordo:	128 Gbits	
Precisão da localização:	\cong 23m na horizontal, sem pontos de controlo (90% de confiança); \cong 17m na vertical, sem pontos de controlo (90% de confiança)	
Resolução espacial:	Pancromática: 61cm (GSD no nadir) a 72cm (25° fora-nadir) Multiespectral: 2,40m (GSD no nadir) a 2.88m (25° fora-nadir)	
Resolução espectral:	4,30 a 4,66 x 10 ⁻⁷ m (B); 4,66 x 10 ⁻⁷ m (G); 5,90 x 10 ⁻⁷ m (R);	7,15 x 10 ⁻⁷ m (NIR1); 4,05 x 10 ⁻⁷ m (PAN)
Resolução radiométrica:	2 ¹¹ bits	

Tabela 4: Características técnicas genéricas dos sensores da série World View

	WorldView-1	WorldView-2	
Data de Lançamento:	18 de setembro de 2007	8 de outubro de 2009	
Status:	operacional	operacional	
Sensor:	Ultra estável	Rastreadores de estrelas	
Altitude:	496km	770km	
Inclinação:	97,5°	98°	
Orbita:	sol-síncrona	sol-síncrona	
Horário de travessia equatorial:	10h30, hora local (descendente do nó).	10h30, hora local (descendente do nó).	
Período de revolução:	Duração de 1 órbita (nominal): (\cong 94,5 min)	Duração de 1 órbita (nominal): (\cong 100 min)	
Período de revisita:	1,7 dias no nadir, (1m GSD ou menos); 5,4 dias a 20° off-nadir ou menos (0.55m GSD)	1,1 dias no nadir, (1m GSD ou menos); 3,7 dias a 20° off-nadir ou menos (0.52m GSD)	
Resolução temporal	s.d.	s.d.	
Capacidade de gravação a bordo:	2.199 Gbits	2199 Gbits	
Pegada:	17,7km x 17,7km no nadir	16,4km x 14km no nadir	
Precisão da localização:	4 - 5,5m no nadir (90% de confiança) <5m na horizontal, sem pontos de controlo a menos que 30° off-nadir (90% de confiança)	<5m na horizontal, sem pontos de controlo a menos que 30° off-nadir (90% de confiança)	
Resolução espacial:	Pancromática: 50cm (GSD) no nadir; 55cm (GSD) a 20° fora-nadir	Pancromática: 46cm (GSD) no nadir; 52cm (GSD) a 20° off-nadir Multiespectral: 1,85m (GSD) no nadir; 2,07m (GSD) a 20° off-nadir	
Resolução espectral:	3,97 a 9,05 x 10 ⁻⁷ m (PAN)	3,96 a 4,42 x 10 ⁻⁷ m (Coastal) 4,42 a 5,06 x 10 ⁻⁷ m (B); 5,06 a 5,84 x 10 ⁻⁷ m (G); 5,84 – 6,24 x 10 ⁻⁷ m (Yellow) 6,24 a 6,99 x 10 ⁻⁷ m (R);	6,99 a 7,65 x 10 ⁻⁷ m (Red Edge); 7,65 a 8,56 x 10 ⁻⁷ m (NIR1); 8,56 a 4,47 x 10 ⁻⁷ m (NIR2); 4,47 a 8,0 x 10 ⁻⁷ m (PAN)
Resolução radiométrica:	2 ¹¹ bits	2 ¹¹ bits	

3. Metodologia

3.1 Enquadramento do estudo

3.1.1 Precedente do MGCP: Vector Map

Em finais do século XX (1991-1993) a *National Imagery and Mapping Agency* (**NIMA**), atual *National Geospatial-Intelligence Agency* (**NGA**), produziu para a *US Defense Mapping Agency* (**DMA**) uma **carta digital do mundo** conhecida como *Digital Chart of the World*, ou simplesmente **DCW**, com temas diversos: aeronáutico, características oceânicas, cobertura do solo, drenagem, estradas, estruturas de transporte, ferrovias, fisiografia, hipsografia, ilhas oceânicas povoadas, marcos culturais, políticos, utilitários e vegetação (NASA, 2013). Uma série de cartas de navegação operacional em escala 1:1.000.000 (*Operational Navigation Chart* - **ONC**) da DMA foi produzida em conjunto pelos EUA, Austrália, Canadá e Reino Unido com o fim de servirem como suporte a pilotos aéreos e tripulações em vôos realizados a baixa e média altitudes e, entre outros fins, a organismos de inteligência e a planeamentos de operações militares. Essas cartas foram compiladas para dar origem à DCW. Embora não tenha sido atualizada desde 1992, essa carta digital consiste atualmente num banco global de dados de SIG que tem sido disponibilizado para o público desde 2006.

A fim de melhorar e atualizar a DCW, a NIMA criou o *Vector Map* (**VMap**), que consistiu num programa para a produção de uma base de dados geográficos e de atributos alfa-numéricos em vários níveis de detalhe: o *Vector Map 0* (Vmap 0), o *Vector Map 1* (Vmap 1), o *Vector Map 2* (VMap 2) e o *Vector Map 3* (VMap 3). Para a efetivação desses programas foram necessárias algumas definições prévias, que serão sumariamente descritas a seguir.

3.1.1.1 – DIGEST

O *Digital Geographic Information Working Group* (**DGIWG**) é um grupo formado na sua maioria por representantes de alguns países na NATO⁹ e seu trabalho¹⁰ consiste em estudos cujos resultados vão principalmente ao encontro dos objetivos desta. Apesar dessa veracidade, o DGIWG não é considerado um grupo de trabalho militar e nem um organismo oficial dessa organização, pelo que os seus trabalhos de normalização, através da sua representação na *NATO Geographic Conference* (**NGC**), têm sido reconhecidos e adotados para a produção de informações geográficas (VMAP3: Uma realidade, 2002).

Independente de se tratar de dados matriciais, raster ou vetoriais, sempre houve uma preocupação em facilitar seu armazenamento, modelação, simulação e intercâmbio por parte das entidades que produzem, distribuem ou simplesmente os utilizam. Assim, a fim de suprir esta necessidade, um dos principais objetivos do DGIWG consiste em definir regras de normalização voltadas para a produção de informações geográficas.

⁹ *North Atlantic Treaty Organization* ou Organização do Tratado do Atlântico Norte.

¹⁰ “Os padrões geoespaciais DGIWG são construídos sobre as normas genéricas e abstratas para a informação geográfica definida pela Organização Internacional de Normalização (ISO TC/211)” (DGIWG, DGIWG, 2013).

Desta forma, dentre os seus trabalhos está o que resultou nas normas DIGEST¹¹ cuja base consiste na definição de que “a permuta de dados entre diferentes sistemas, sem ajuda de tradutor, requer a uniformidade ou a compatibilidade das características dos dados mais essenciais, ou seja, modelo de dados, estrutura de dados, formato de dados e codificação”.

De acordo com essa premissa, para os programas da série VMAP, procurou-se um modelo de dados que permitisse uma produção homogênea de geoinformação e, ao mesmo tempo, que seu acesso fosse realizado de maneira fácil por parte dos utilizadores o que implicaria tratar-se de um formato que pudesse ser lido pela maioria dos *softwares* comerciais desenvolvidos para serem trabalhados neste ramo sem a necessidade dos citados tradutores, ou seja, sem a necessidade de ser previamente convertido num formato intermediário. Assim sendo, uma vez compatível com o padrão internacional definido pela DIGEST, o modelo de dados eleito foi o *Vector Product Format (VPF)* que é marca registada da NGA e a regulamentação para a produção de geoinformação pelos programas em questão será brevemente descrita nos itens dedicados especificamente a cada um deles.

3.1.1.2 – Vector Product Format

Especificado na parte 2 das normas DIGEST, o VPF é um modelo para grandes bases de dados geográficas baseado num modelo relacional de dados que foi desenvolvido em 1966 pelo *U.S. Department of Defense (DOD)* e se tornou no Modelo Padrão Militar dos EUA, MIL-STD-2407 (NIMA, 1998). Eis suas principais características:

- ✓ permite o acréscimo, a retirada, o manuseamento e a organização dos dados e de seus atributos de várias formas por possuir flexibilidade na codificação;
- ✓ uma vez que o modelo base relaciona tabelas e índices, o VPF permite acesso direto aos dados por temática ou por localidade espacial;
- ✓ é compatível com diversas aplicações e, por isso, pode ser utilizado em diversos *softwares* de SIG com informações geográficas digitais desde que estas se encontrem vetorizadas;
- ✓ de modo geral, os modelos de dados geográficos têm a função de organizar as informações de modo que se possa produzir, editar, analisar e manipular dados. Nos modelos VPFs as informações geográficas são registadas e armazenadas na forma de ficheiros (diretórios, tabelas e índices) de tal forma que se possa proceder a qualquer daquelas ações através do estabelecimento de relações entre entidades e atributos.

Conforme as especificações MIL-STD-2407 contidas no documento *Interface Standard For Vector Product Format* publicadas pela NGA (1996), os VPFs podem ter apenas três tipos de ficheiros:

- ✓ diretório: de uma coleção de outros ficheiros identifica seus nomes, tipo, endereço e tamanho (tabela 5);

Tabela 5: Estrutura de um ‘diretório VPF’ (NGA, 1996)

Diretório		
Nome	Endereço	Tamanho
Nome do ficheiro	Localização no meio	Comprimento em unidades de armazenamento média

¹¹ *Digital Geographic Information Exchange Standard* ou Padrão para Troca de Informações Geográficas Digitais. Por ter sido tão bem estruturado, esse conjunto de normalizações foi adotado como Acordo Padrão da Nato (*NATO Standardization Agreement 7074*), sua importância foi sendo reconhecida internacionalmente e passou a ser utilizado por diversas entidades como documento base para a produção de vários produtos de suporte a aplicações civis e militares.

- ✓ tabelas: são a estrutura organizacional de todo o conteúdo de dados, uma vez que são responsáveis pela organização e modelação de todos eles. Elas devem apresentar uma estrutura comum básica, constituída por cabeçalho, identificador de linha e conteúdo da tabela. Opcionalmente, as tabelas VPFs (derivadas¹²) podem referenciar estruturas adicionais como tabela descritiva, índice temático, tabela descritiva de coluna e tabela de descrição de valores. Um produto de banco de dados VPF-compatível deve incluir todas as tabelas e colunas obrigatórias, conforme o descrito na secção 5 da citada especificação, a exemplo da tabela 6, adaptada da apresentada nas especificações.

Tabela 6: Estrutura de uma 'tabela VPF' (NGA, 1996)

Cabeçalho da tabela Metadados e definições de coluna:	
a. Descrição da tabela (opcional) b. Nome da tabela narrativa c. Definições de coluna: Nome da coluna Tipo de campo Comprimento do campo Tipo de chave Coluna de descrição textual Descrição opcional do valor do nome da tabela Nome opcional de índice temático Nome opcional de coluna descritiva da tabela	
ID	Tabela de conteúdos
Indica a posição inicial de cada linha.	Dados componentes da tabela que corresponde às definições de coluna.

- ✓ índices: estão associados às tabelas e são úteis na rápida identificação de um registo ou de um conjunto deles.

De acordo com a especificação em questão, o modelo de dados VPF está organizado em quatro níveis de elementos, conforme pode ser visto na figura 5, adaptada da apresentada nas especificações em questão. A esta altura é importante explicitar que, num banco de dados, as 'classes de elementos' (ou *feature classes*) são constituídas por tabelas primitivas e de atributos por meio de modelação relacional, pelo que estas são consideradas como o primeiro nível constituinte do modelo de dados VPF.

¹² Uma tabela derivada de uma tabela de VPF é a que possui todas as propriedades de uma tabela de VPF, mas também tem propriedades adicionais que suportam outras funções específicas.

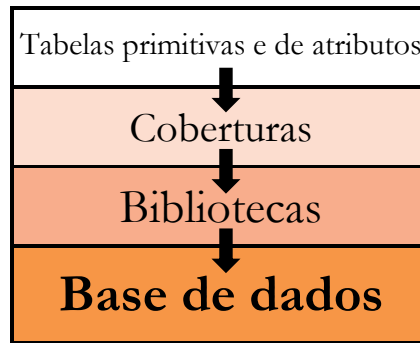


Figura 5: Ilustração da organização do modelo de dados VPF, por níveis de elementos estruturais (NGA, 1996)

A seguir ao nível estrutural mais baixo estão as ‘coberturas’. Estas, por sua vez, agrupam-se em ‘bibliotecas’ cujo conjunto dá forma à ‘base de dados’. Na prática, a base de dados e as bibliotecas são utilizadas principalmente para facilitar o acesso aos dados. Já as coberturas, que incorporam topologia, são usadas para definir as relações entre os elementos.

As **primitivas** utilizadas no modelo de dados VPF podem ser geométricas (pontos ou nós, linhas ou limites e áreas ou faces) e textuais. Todas elas podem ser combinadas para modelar qualquer fenómeno geográfico pelo uso da geometria do vetor. Contudo, apenas as primitivas geométricas podem ser ligadas entre si por relações topológicas.

As **classes de elementos** ou *feature classes*¹³ são compostas de uma variedade de tabelas contendo dados geométricos, topológicos e de atributos.

As primitivas podem manter relações topológicas de acordo com determinado nível, que pode ir do zero ao terceiro. O conjunto de elementos cujas primitivas mantêm esse tipo de relação dá origem à **cobertura**, que define o nível da relação topológica. Cada nível de cobertura deve apresentar três componentes: os ficheiros das primitivas ou os subdiretórios contendo as primitivas, as tabelas de elementos e a tabela de esquema da classes de elementos.

Conforme dito acima, uma **biblioteca** é definida por um conjunto de coberturas. Estas devem compartilhar apenas uma escala e um sistema de coordenadas. Além disso, devem ter uma única definição temática e estar contidas dentro de uma específica extensão espacial.

Conforme o explicitado nas especificações MIL-STD-2407, uma **base de dados** é definida por uma coleção de bibliotecas relacionadas e de tabelas adicionais. Neste item vale esclarecer que a ‘tabela de atributos da biblioteca’ funciona como um tabela de conteúdos para a base de dados (NGA, 1996).

Para dar aos utilizadores acesso e visualização dos dados do VMap 0 assim como de qualquer outra biblioteca de dados implementados no VPF, a NIMA criou um *software* conhecido como VPFVIEW V2.1¹⁴. Tal *software* além da visualização, permite converter ficheiros em formato VPF para formatos utilizados como padrão em SIG como PostGIS e *shapefile* entre outros e permite ainda a realização de consultas espaciais. Contudo, é limitado na sua capacidade analítica e não permite a manipulação de dados como permitem os SIG. Felizmente existem algumas alternativas ao VPFVIEW V2.1 facilmente disponíveis na internet e capazes de permitir a visualização de dados desse tipo a exemplo do ArcExplorer, do MapInfo ProViewer, do ERDAS ViewFinder, do Geomedia Viewer, do DLGv32 e do DLGv32 Pro.

¹³ *Feature class* ou classe de características de elementos: conjunto homogêneo de dados com características comuns ou com a mesma representação espacial: pontos, linhas ou polígonos e um conjunto de colunas de atributos. Estas são as quatro classes de características mais utilizadas numa geodatabase (ESRI, 2012).

¹⁴ VPFVIEW é gratuito e, juntamente com outros recursos auxiliares, está disponível em: http://www.mapability.com/download/nima_muse/

3.1.1.3 – Vector Map 0

O VMap 0 é uma base de dados de baixa resolução, de cobertura mundial e acessível ao público em geral. O seu conteúdo são dados geoespaciais vetoriais disponibilizados em projeção geográfica WGS-84, numa escala de 1:1.000.000. Na prática, O VMap 0 foi projetado para ser uma versão atualizada e melhorada da **DCW** produzida pela NIMA, o que explica ter tido como fonte primária a Série de Cartas de Navegação Operacional, **ONC**, em escala 1:1.000.000, da DMA.

Para facilitar por parte do utilizador a localização de dados de determinada área de interesse, a biblioteca do VMap 0 está organizada da seguinte forma:

- ✓ Os seus dados são armazenados em quatro discos compactos apenas de leitura (*compact disc read-only memory* ou CD-ROM) com mais de 1.800MB de informações vetoriais das regiões (figura 6):
 1. América do Norte;
 2. Europa e Norte da Ásia;
 3. América do Sul, África e Antártica e
 4. Sul da Ásia e Austrália;

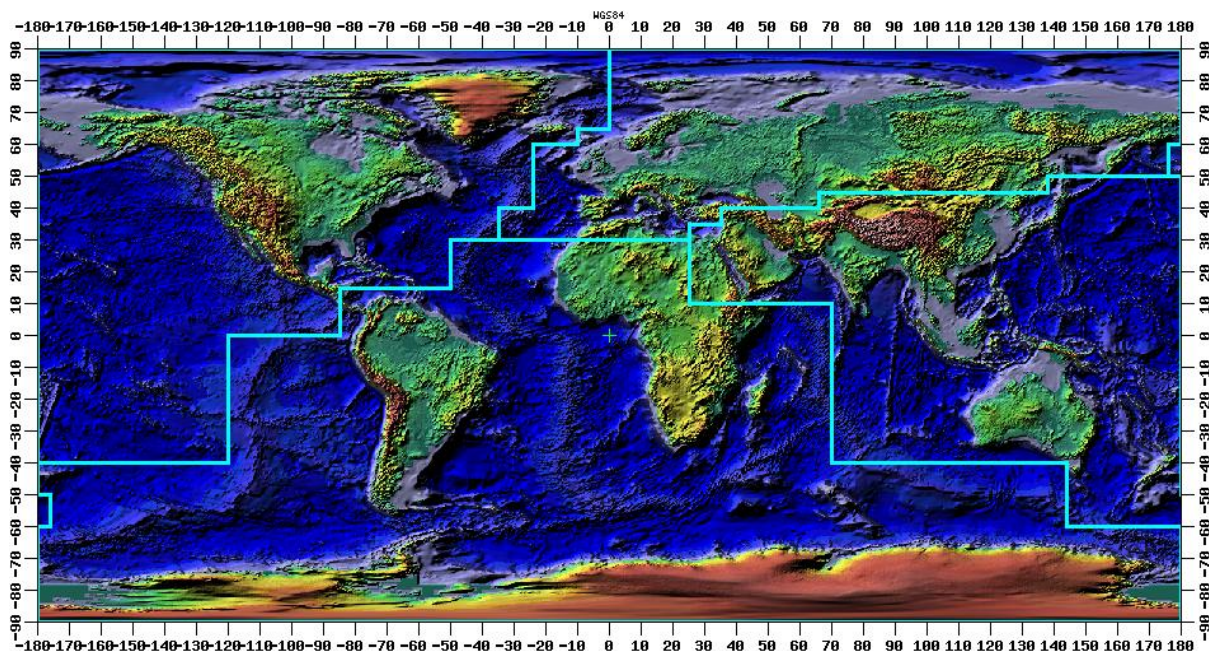


Figura 6: Limites das regiões para fins de informações vetoriais do VMap 0 (NGA, 2004)

- ✓ os discos são organizados em 10 *layers* ou camadas temáticas de dados: grandes aeroportos; curvas nível, linhas de litorais, das fronteiras internacionais e locais povoados; grandes redes ferroviárias e rodoviárias; sistemas hidrológicos de drenagem e redes de serviços públicos como linhas de comunicação e
- ✓ a biblioteca disponibiliza um índice (décima camada) de nomes geográficos para pesquisa.

Compatível com o padrão internacional definido pela DIGEST, a estrutura dos dados foi o VPF para o Padrão Militar dos EUA, MIL-STD-2407, pelo que as características e conteúdos do VMap 0 são definidos pela Especificação Militar dos EUA (*US Military Specification*), MIL-V-89039 (NIMA, 1998).

3.1.1.4 Vector Map 1

À semelhança do VMap 0, o VMap 1 é uma base de dados de cobertura mundial definidos pela especificação MIL-V-89033 dos EUA. Contudo, os dados apresentam uma maior resolução e são de acesso apenas por parte do público, uma vez que são usados principalmente para fins de tecnologias de informação restritas como sistemas e simulação de geoinformação e para a produção de mapas analógicos e digitais militares.

Os dados do VMap 1 também foram definidos no Sistema Geográfico de Coordenadas WGS84 e correspondem à geometria e conteúdo de mapas na escala média de 1:250.000 com precisão horizontal de 125 a 500m (em xy) e vertical de 0,5m a 2m (em z) ao nível médio das águas do mar, tendo uma base de dados alfanumérica associada.

O VMap 1 foi considerado um projeto “quase global” uma vez que dele participaram diversos países, alguns dos quais desistiram da participação por motivos particulares não explicitados, uma vez que foi concebido para cada país participante produzir informação geográfica digital normalizada de seu próprio território e depois compartilhá-las com os demais.

Relativamente a essas informações (que podem ser utilizadas com vários propósitos como o de fornecer dados à comunidade civil para o planeamento e ordenamento do território), estabeleceu-se que na sua base de dados devem constar dez coberturas temáticas, a saber: altimetria, fisiografia, hidrografia, indústria, limites, população, qualidade dos dados, serviços, transportes e vegetação.

A produção do VMap 1, regulamentada pelas normas DIGEST, inclui um **catálogo de objetos - FACC**¹⁵ - cujo conteúdo especifica a estrutura dos elementos gráficos a serem extraídos a partir das fontes de informação. Esses elementos devem ser descritos em termos de elementos cartográficos e por atributos.

Assim sendo, com o fim de garantir uma compatibilidade aquando da troca de informações geográficas entre países e ou organismos, o FACC apresenta uma lista de elementos e atributos que devem estar organizados a partir de um sistema de códigos normalizados.

A partir do referido catálogo foi criado um **guia de extração** contendo as normas a serem seguidas para a aquisição das informações do VMap 1 a constarem das coberturas temáticas anteriormente citadas. A partir da definição de 234 telhas geográficas e seguindo-se as normas de codificação e as regras apresentadas nesse guia, grande parte dos dados foram adquiridos da série cartográfica JOG's, norte-americana, que se trata de cartas analógicas à escala 1:250.000. Com exceção da rede viária nacional cujas informações foram extraídas da Série Cartográfica M586 produzida pelo IGeoE, a base de dados de Portugal para o VMap 1 também foi criada com várias informações extraídas daquela série como sobre hidrografia, topografia, etc.

Das 234 telhas geográficas definidas, apenas 57¹⁶ delas (incluindo partes da Colômbia, Costa Rica, EUA, Iraque, Japão, Líbia, México, Panamá e Rússia) - figura 7 - podem ser adquiridas em formato VPF através do site da NGA.

Uma vez definido no formato VPF que é compatível com diversas aplicações, o produto VMap 1 pode ser utilizado em diferentes *softwares* de SIG como base de dados. Assim, associado a outras informações espaciais devidamente georreferenciadas, permite quaisquer tipos de análises espaciais, eficazes e importantes nos planeamentos e gestão do território.

¹⁵ *Feature and Attribute Coding Catalog* – FACC. Sua estrutura está definida na parte 4 das normas DIGEST.

¹⁶ As 54 telhas geográficas produzidas pelo VMap 1 estão disponíveis para download em: <http://gis-lab.info/qa/vmap1-eng.html>

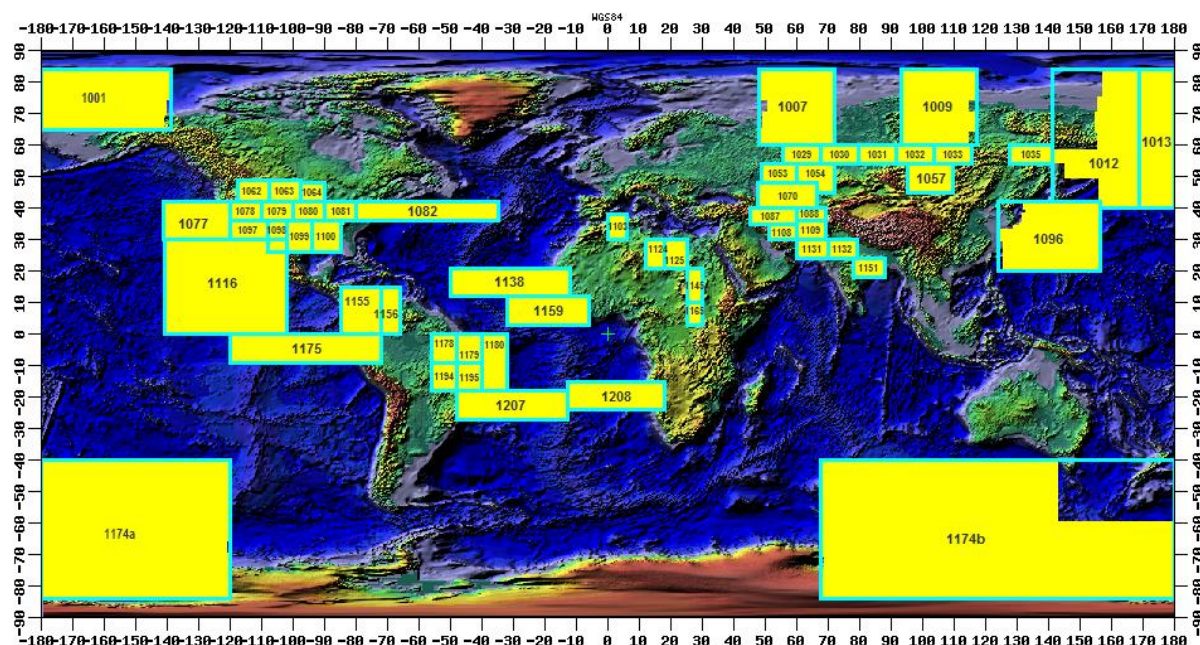


Figura 7: Ilustração da localização de 57 das 234 telhas geográficas de dados adquiridos pelo VMap 1 (Adaptado de NGA, 2013)

3.1.1.5 Vector Map 2

O VMap 2 foi concebido para dar continuidade aos trabalhos iniciados pelo seu antecessor, mas para adquirir dados equivalentes a uma resolução em grande escala. Assim, seguindo as especificações definidas pelo padrão MIL-V-89032 dos EUA, a produção do VMap 2, regulamentada pelas normas DIGEST, utilizou-se do catálogo de objetos – FACC – e do guia de extração, citados no subitem anterior. Este guia, no entanto, foi adaptado para a extração de informações geográficas equivalentes à escala 1:50.000.

3.1.1.6 Vector Map 3

Com o fim da versão 2 do projeto VMap e tendo-se reconhecido a importância dos trabalhos desenvolvidos durante a vigência do VMap, sentiu-se uma necessidade de colmatar possíveis lacunas verificadas no produto final desta versão. Neste âmbito surge a possibilidade de se estenderem os seus trabalhos pelo início de uma outra versão desse projeto: o VMap 3.

Em Portugal, de acordo com informações obtidas do IGeoE (VMAP3: Uma realidade, 2002), o VMap 3 foi visto como uma oportunidade de aumentar a disponibilidade de produtos de novas tecnologias de informação pelo aproveitamento da qualidade (riqueza e precisão) dos dados adquiridos para a produção do Vmap 2 e da experiência adquirida na realização dos trabalhos das versões anteriores.

Desta forma, seria mantida a estrutura dos dados e seriam efetuadas as alterações que se sentissem necessárias para garantir a integração dos dados pretendidos. Partindo dessas premissas, os trabalhos de completagem para serem desenvolvidos durante a vigência do VMap 3 deveriam utilizar as informações fotogramétricas e alfanuméricas já adquiridas e uma estrutura normalizada.

Contudo, por razões diversas este projeto não saiu do papel, tendo sido substituído por outro

internacional não menos importante, o *Multinational Geographic Co-Production Program* (MGCP), tendo parte das suas atividades realizadas IGeoE.

3.1.2 MGCP

3.1.2.1 Visão global

O MGCP é um programa que nasceu em 2003 no âmbito das agências nacionais de defesa produtoras de geoinformação, na sequência do programa VMap cujo resultado, como se viu, foi um conjunto de dados geográficos vetoriais em formato digital às escalas de 1:250.000 e 1:50.000 representantes de uma cobertura a nível global. O MGCP tem como objetivo principal mapear áreas de grande interesse mundial com uma resolução espacial compatível com as escalas 1:50.000 (áreas de maior interesse) e 1:100.000, a partir da aquisição de dados vetoriais geográficos em plataforma SIG, que destinar-se-ão a dar apoio e suporte espacial aos sistemas militares de apoio à decisão bem como a missões de interesse público e a ações humanitárias.

Para o início da realização dos trabalhos propostos por este programa, foi elaborado um memorando de entendimento entre 28 países, sendo atualmente 30 os aderentes, entre eles líderes e associados. Os ‘países **líderes**’ são os que têm acesso a toda informação geoespacial adquirida, pois uma vez que, além de serem os que mais produzem, são também os que possuem maiores responsabilidades administrativas e os que devem supervisionar o trabalho desempenhado pelos ‘países **associados**’ a fim de garantir a qualidade dos mesmos. Os ‘associados’ apenas têm acesso à informação produzida pelos demais de acordo com a sua capacidade de produção (três células por cada concluída). Abaixo serão listados os países, de acordo com o tipo que representam.

Países Líderes: Alemanha, Austrália, Canadá, Dinamarca, Espanha, Estados Unidos da América, França, Itália, Noruega, Reino Unido e Suécia.

Países Associados: Bélgica, Coreia do Sul, Croácia, Estónia, Finlândia, Grécia, Holanda, Hungria, Japão, Letónia, Lituânia, Moldávia, Nova Zelândia, Polónia, Portugal, República Checa, República Eslovaca, Romênia e Turquia.

O MGCP está estruturado em três grupos distintos que fornecem governança administrativa para o programa:

1. **Grupo Plenário** - composto por representantes de todas as nações MGCP. É responsável pela implementação dos objetivos do memorando de entendimento e endossamento dos cronogramas de produção;
2. **Grupo de Orientação** - composto por membros das nações líderes. Responsável por supervisionar todas as políticas e iniciativas de planeamento e
3. **Grupo Técnico** - composto por membros de todas as nações acima citadas. É responsável pela supervisão dos requisitos técnicos do programa, inclusive pelo desenvolvimento e manutenção da *Technical Reference Documentation* (TRD) ou Documentação de Referência Técnica utilizada na produção, validação e divulgação de dados MGCP.

3.1.2.2 Portugal, o IGeoE e o MGCP

Assim como as demais sociedades desenvolvidas e em desenvolvimento, o território português tem sido alvo de alterações provocadas por ações e modo de vida modernos das populações humanas. Na atualidade, assim como o desenvolvimento da tecnologia, tais mudanças têm ocorrido de forma rápida e, como é de se esperar, os problemas tendem a surgir na mesma proporção. Assim sendo, é imprescindível preparar-se de forma a responder de modo positivo a tal realidade, pelo que é importante manter toda a informação a seu respeito reunida, organizada e atualizada para permitir a implementação de projetos e tomada de decisões. Dentre essas informações, deve-se ter especial atenção às de natureza geoespacial que têm grande relevância aquando de tais ações. Num cenário como esse percebe-se a importância dos levantamentos cartográficos, pois devido às mudanças e ao desenvolvimento das sociedades, eles nunca estão terminados e devem sempre acompanhá-los utilizando-se do progresso da tecnologia.

Cientes de tal contexto, os governantes sabem que é imprescindível a existência de organismos responsáveis pela concretização de estudos que registem sistematicamente a realidade das sociedades como problemas relacionados com o crescimento desordenado de populações, por exemplo, em épocas temporalmente distintas. É justamente nesse quadro que se encaixa o Instituto Geográfico do Exército, pois além de ser um órgão militar de apoio à decisão (em conformidade com o objetivo proposto pelo MGCP), realiza atividades de aquisição de informação geoespacial. Assim sendo, no quadro das agências nacionais de defesa produtoras de geoinformação, em 2006 o IGeoE passou a representar Portugal como participante do MGCP através das suas atividades realizadas no âmbito do programa em epígrafe.

3.1.2.3 O Instituto Geográfico do Exército no Contexto

No início da década de 90 do século passado o Exército português sofreu uma reorganização estrutural da qual, pelo Despacho Ministerial 72/MDN/93 de 30 de junho, criou-se o Instituto Geográfico do Exército (IGeoE) que, ao suceder o Serviço Cartográfico do Exército (SCE), herdou o vasto patrimônio cultural e a responsabilidade de dar continuidade à missão de produções cartográficas militares portuguesas.

A sua produção trata-se de um processo complexo do qual participam diversos departamentos a trabalharem de modo interligado, pelo que o conhecimento de cada um detalhadamente seria informação para muitos temas. Assim, para o assunto em questão vale dar destaque ao Departamento de Processamento de Dados do qual fazem parte a Secção de Sistemas de Informação Geográfica, a Secção de Validação e Edição e a Secção de Edição de Pequenas Escalas. Esta realiza a produção dos MDTs de Portugal Continental e dá procedimento aos trabalhos de ortoretificação e de *pan-sharpening* das imagens de satélite para o MGCP, cuja secção, também alocada fisicamente neste departamento, procederá à realização dos trabalhos de aquisição de dados, conforme será descrito mais à frente.

3.1.3 Metas de produção MGCP

As áreas geográficas a mapear, de interesse estratégico para os países integrantes deste Projeto, estão divididas em 13.103 células de 1° x 1° (aproximadamente 110km x 110km) da superfície terrestre, mas apenas 2.714 serão efetivamente produzidas. Destas devem ser extraídas informações geográficas as quais apresentem pormenor, exatidão posicional e rigor geométrico que possibilitem uma resolução espacial compatível com as escalas anteriormente citadas, conforme o interesse geoestratégico de cada área de trabalho. Para isso os dados devem ser capturados com uma densidade que permita a construção de mapas com tais características, mas em áreas mais esparsas os dados podem

ser capturados a uma densidade compatível com a escala de 1:100.000. Todos os dados produzidos, independentemente da densidade, devem corresponder a uma precisão horizontal de $\pm 25\text{m}$.

O IGeoE, de acordo com uma previsão geral inicial, comprometeu-se a produzir 10 células correspondentes aos arquipélagos de Cabo Verde e 3 células de São Tomé e Príncipe que seriam adquiridas na primeira e segunda etapa de produção, respectivamente. A terceira etapa consistia na produção total de 7 células de Timor-Leste, mas por razões que não dizem respeito à vontade portuguesa, esta foi atribuída à Austrália, o que levou Portugal a propor uma troca por área similar em Angola (Sequeira et al., 2006). Para a última etapa previa-se a produção de Portugal Insular e Continental num total de 33 células. Contudo, na primeira etapa (2006/2011) foram produzidas as células propostas de Cabo Verde (4.067km^2), as de São Tomé e Príncipe (991km^2) e 3 (3.134km^2) de Angola (sendo que outras cinco já estavam em fase de aquisição de dados aquando da finalização oficial da etapa, pelo que foram computadas na primeira), totalizando uma área de 8.192km^2 (figura 8). Atualmente estão a ser realizados os trabalhos inerentes à segunda etapa (2012/2017) do Projeto que se referem à aquisição de 24 células de Angola (figura 8), finalizando 45 células no total.

As metas de produção no âmbito do MGCP são alcançadas através da utilização de normas comuns e práticas que promovem a interoperabilidade entre as nações. Nos próximos itens serão citadas as principais delas.

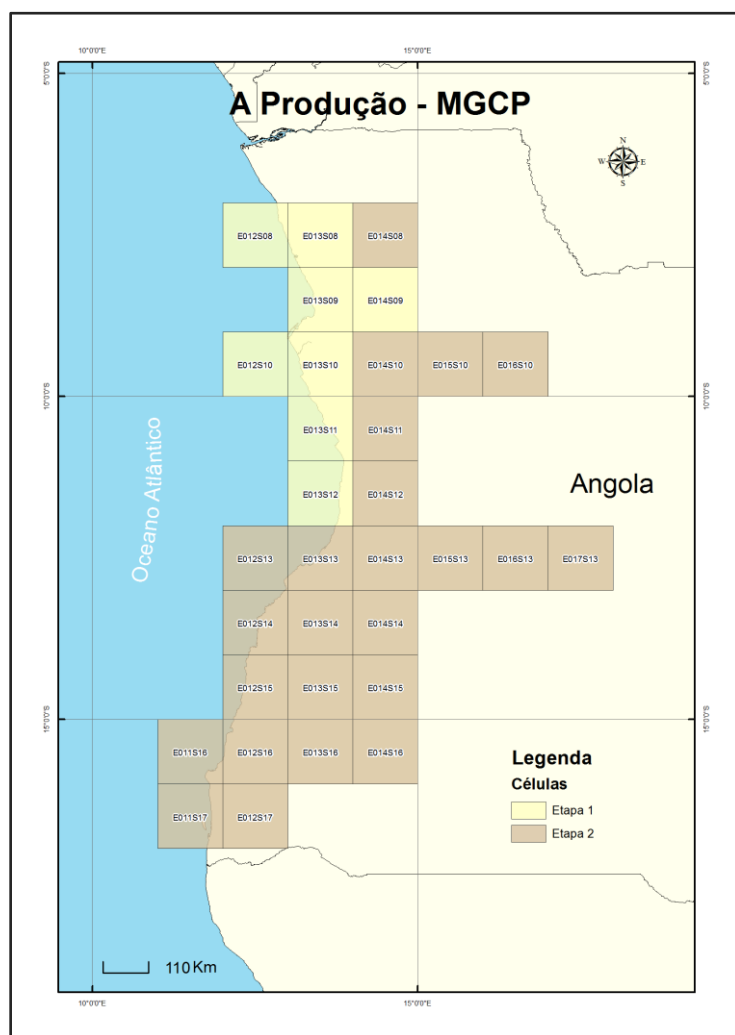


Figura 8: Etapas de produção do MGCP por Portugal

3.1.4.1 Normas gerais de produção

Como se viu, a fim de facilitar o armazenamento, modelação, simulação e intercâmbio de dados geográficos, a DGIWG criou as normas DIGEST que ainda têm sido utilizadas por diversas entidades como documento base para a produção de vários produtos geográficos de suporte a aplicações civis e militares. Contudo, com o fim de oferecer normas de informação geográfica mais flexíveis que as da DIGEST para aplicações militares, o DGIWG baseou-se principalmente nas normas de informação geográfica da série **ISO/TC 211**, com destaque para as de nº 19115:2003 e 19139:2007.

Resumidamente, a **ISO 19115:2003** normaliza conteúdos geográficos definindo os esquemas necessários tanto para serviços geográficos (catalogação de conjuntos de dados, atividades desenvolvidas por Câmaras municipais e a descrição completa de conjuntos de dados, por exemplo) como para a descrição de informação geográfica. Para isso ela fornece informações sobre a qualidade, a extensão, a identificação e esquemas espacial e temporal, de referência espacial e de distribuição de dados geográficos digitais.

A respeito dos metadados ela define elementos, entidades e secções condicionais e obrigatórias. Com o fim de atender toda a gama de aplicações de metadados (descoberta de dados, determinando a aptidão de dados para uso, acesso a dados, transferência de dados e uso de dados digitais), ela define um conjunto mínimo deles. Além disso, também define elementos de metadados opcionais para que, se necessário, seja possível uma descrição mais detalhada de dados geográficos e ainda: define um método para estender metadados com o objetivo de atender a necessidades especializadas (ISO, 2013).

Embora tenha sido desenvolvida para ser aplicada a dados geográficos digitais, a maior parte dos princípios que regem estas normas podem ser estendidos a variadas outras formas de dados geográficos como gráficos, documentos textuais e mapas e também a dados não geográficos.

A **ISO 19139:2007** define um esquema XML derivado da ISO 19115. Esse esquema especifica o formato de registo de metadados e é usado por programadores de *softwares* para implementar o padrão.

Como resultado dos esforços DGIWG, o grupo apresentou em 2005 o *DGIWG Feature Data Dictionary* (DFDD¹⁷) o qual consiste num documento padrão NATO que especifica conceitos normalizados de informação geográfica mais flexíveis para aplicações militares. O DFDD é o documento padrão de substituição do FACC - parte 4 do DIGEST.

3.1.4.2 Normas MGCP de produção

Baseando-se no DFDD; nas especificações norte-americanas MIL-STD-2402 (simbologia), MIL-STD-2410 (reprodução e impressão) e MIL-T-89301A (reprodução de mapas topográficos na escala 1:50.000), conforme citado anteriormente, o Grupo Técnico MGCP desenvolveu o *Technical Reference Documentation* (**TRD**) que consiste num documento de referência técnica (mais abrangente que o referido Catálogo) com os critérios e as especificações para a recolha de dados definidos com o objetivo de permitir a identificação de potenciais inconsistências entre os padrões e melhorar a interoperabilidade por meio da partilha, conversão e re-utilização dos dados de forma mais fácil entre os países e ou organismos participantes deste projeto.

Apesar de a versão 4 do TRD já estar pronta e aprovada para reprodução, os grupos de trabalho MGCP ainda estão a adquirir dados baseando-se nas especificações da versão 3 (TRD v.3).

O TRD v.3 apresenta 8 componentes:

MGCP Feature and Attribute Catalogue – define um esquema padrão com as exigências de

¹⁷ DFDD encontra-se disponível em: <https://www.dgiwg.org/FAD/>

descrição de tipos de objetos e de atributos;

MGCP Semantic Information Model - fornece um modelo de informações semânticas para o conjunto de dados MGCP, definindo as relações de dependência entre os objetos;

MGCP Extraction Guide – fornece as instruções necessárias para a correta aquisição dos dados contidos no *MGCP Feature and Attribute Catalogue*;

MGCP Metadata Specification – define os metadados dos objetos e das células exigidos pelo MGCP;

Sample_XML_TRD3_20091103.xml - exemplo de ficheiro para o envio de metadados na extensão .xml;

MGCP_TRD3.xsl - é um arquivo que descreve como exibir um documento .xml de um determinado tipo;

MGCP Edge-matching Process – fornece aos países produtores MGCP orientação sobre os métodos, requisitos e responsabilidade de produção relativos aos limites de área correspondentes;

MGCP Edge-matching Process – apresenta orientações técnicas sobre os requisitos, responsabilidades e métodos que garantam correspondência na continuação de aquisição dos dados nas áreas de limites das células sob responsabilidade de cada país participante do projeto e

ESRI ShapeFile Implementation Rules - fornece um conjunto de restrições implícitas na implementação das especificações *ESRI Shapefile* para a realização do intercâmbio de dados, de modo que seja uma abordagem consistente para todos os participantes, independentemente do pacote de *software* que utilizam.

À semelhança do FACC, o **Catálogo de Objetos MGCP** contém uma lista de objetos codificados e especificados para aquisição e armazenamento na base de dados do MGCP. Este documento também apresenta uma lista de atributos que devem estar organizados a partir de um sistema de códigos normalizados. Tais códigos devem ser definidos por cinco caracteres, sendo o primeiro referente à categoria temática do elemento e o segundo a uma subcategoria (oriunda da divisão da categoria). Já os três últimos caracteres, que são representados por uma combinação de três números, são responsáveis por dar uma característica individualizada ao elemento.

Para a referida normalização, tome-se como exemplo o elemento “hidrografia” ao qual podem-se atribuir os códigos BA010 (figura 9) ou BA040, onde “B” se refere à categoria “Hidrografia” (*Hydrography*) e “A” à subcategoria “Hidrografia Costeira” (*Coastal Hydrography*). Já os números ‘010’ e ‘040’ se referem às características “Limite Terra-Água ou Linha Costeira” (*Land Water Boundary*) e “Águas de Maré” (*Tidal Water*), respectivamente. Contudo, este é apenas um simples exemplo dentre várias opções de codificação que podem ser adotadas para um mesmo ou semelhante elemento cartográfico, pelo que esta ação depende em última instância da análise do contexto no qual será adquirido (DGIWG, Part 4 - FACC, 2000). Para tal, no site da DIGEST¹⁸ pode-se encontrar uma lista detalhada das codificações que podem ser utilizadas.

A partir do referido catálogo foi criado um **Guia de Extração** (figura 10) que contém as normas a serem seguidas para a aquisição da geo-informação a constar da mesma base de dados. Na fase dedicada à descrição das atividades de extração desses dados referir-se-á genericamente às regras de aquisição dos objetos vetorizados da área de estudo deste trabalho.

¹⁸ <https://www.dgiwg.org/digest/>

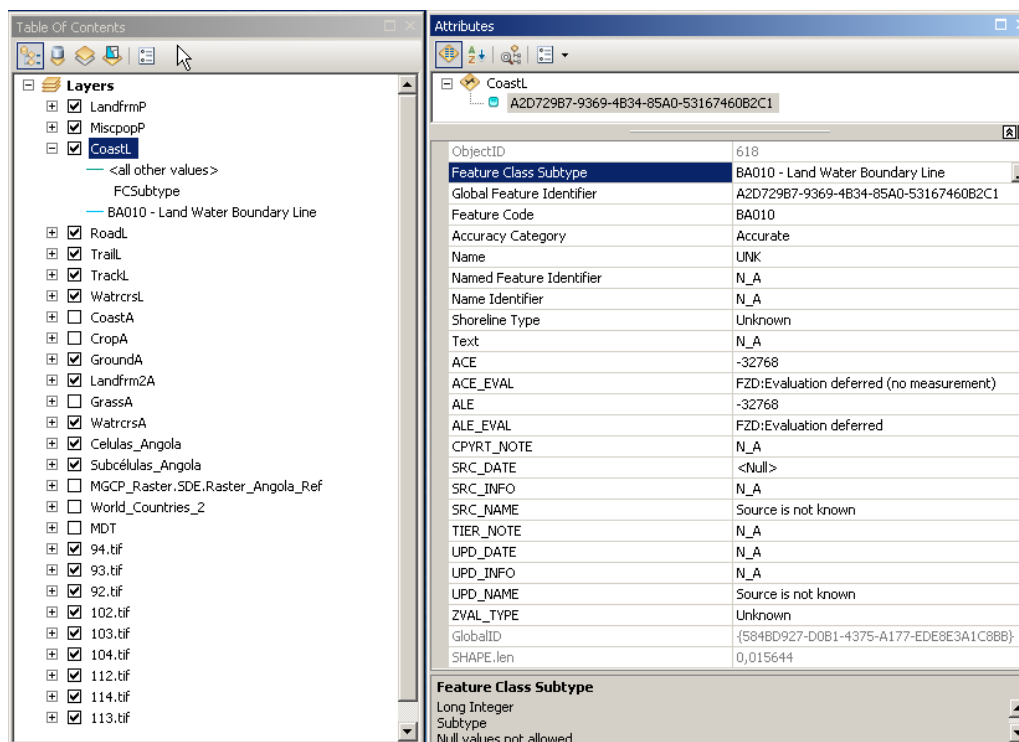


Figura 9: Exemplo de vetorização de determinada linha de água, com a codificação definida para o efeito - BA010 - Land Water Boundary Line

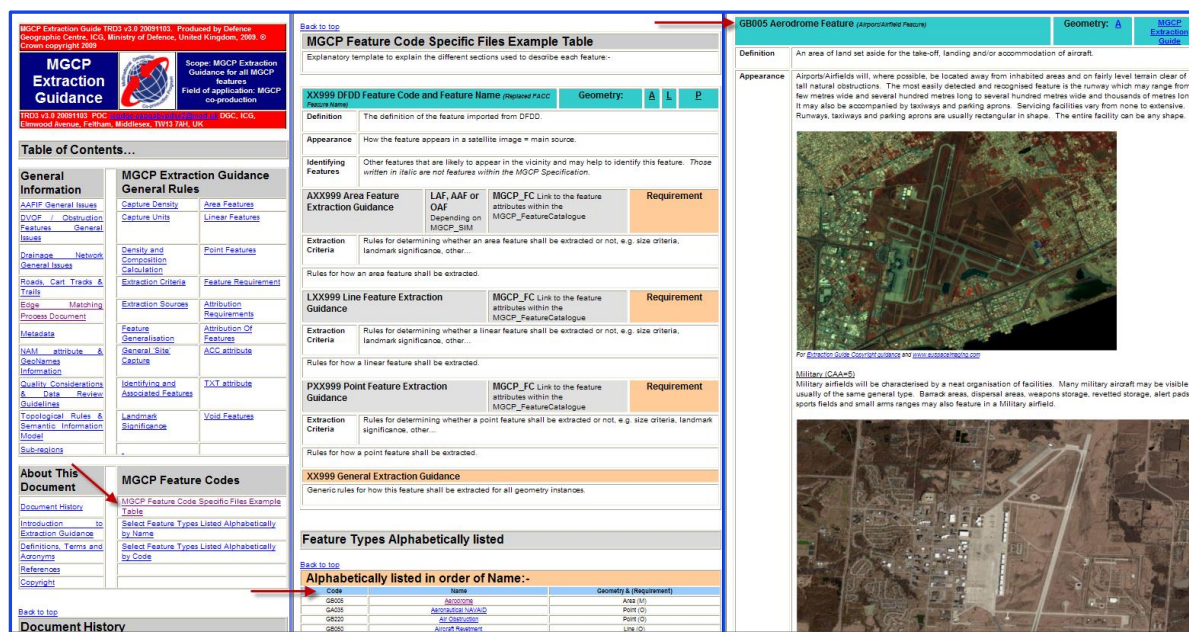


Figura 10: Extrato do Guia de Extração MGCP

3.2 Descrição da área de estudo

Angola está situada na África Central Ocidental, numa zona intertropical, mas possui um clima que não é apenas influenciado por esta condição, mas também pela morfologia do terreno, pela corrente de Benguela e pela proximidade do deserto de Namibe.

Esse clima é caracterizado de modo geral por apresentar apenas duas estações: chuvosa com temperaturas elevadas que vai de outubro a abril e seca com temperaturas amenas (localmente designada de Cacimbo) que vai de maio a setembro. Contudo, as temperaturas e a paisagem mudam gradualmente de norte para sul do seu território (figura 11) que é dividido em zona costeira e zona interior (norte, de altitude e sudeste).

Assim, a parte norte possui temperaturas elevadas com uma média anual em torno dos 26°C e é a que apresenta os maiores índices pluviométricos (clima tropical quente e húmido). Nos planaltos nortistas e centrais as precipitações também são elevadas, mas apresentam temperaturas mais amenas, em média anual de 19°C (clima temperado tropical). Ao longo da planície costeira as precipitações vão baixando de norte para sul sendo influenciadas principalmente pela corrente de Benguela, que passa ao longo da parte sul da costa tornando-a semi-árida (zona sudeste, por exemplo) ou árida ao se aproximar do Deserto de Namibe, sujeita a grandes massas de ar tropical continental.

As áreas a serem mapeadas, divididas em células de 1° x 1° são, por sua vez, divididas em 16 subcélulas (figura 12), cada uma com aproximadamente 28km x 28km de área. Tal subdivisão é realizada pelo IGeoE com o objetivo de facilitar a distribuição dos trabalhos de aquisição de informações geográficas entre os seus técnicos.

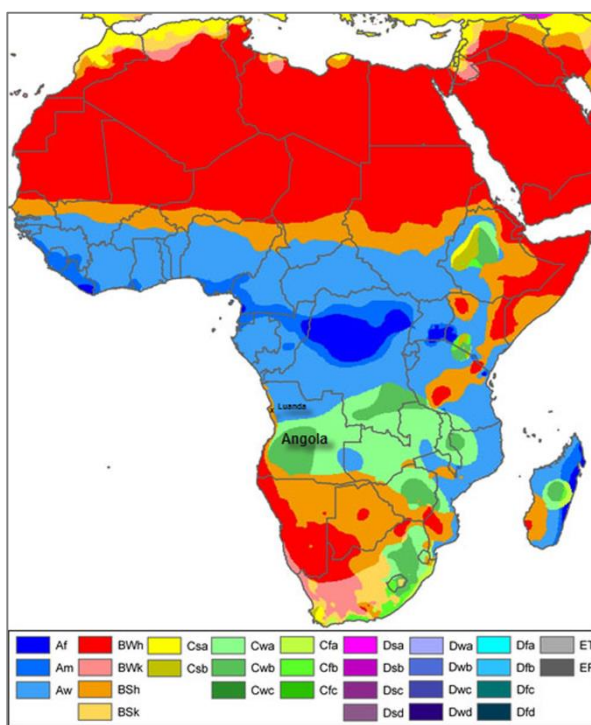


Figura 11: Mapa climático da África de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger (Adaptado de 'África', 2013)

Uma subdivisão da célula EO13S14 (figura 12), a sul de Benguela, mais especificamente a individualizada pelas arestas definidas a partir das coordenadas 13°14'59,979"E - 12°59'59,945"S (canto superior esquerdo), 13°30'0,126"E - 12°59'59,894"S (canto superior direito), 13°15'4,459"E - 13°14'56,846"S (canto inferior esquerdo) e 13°29'58,755"E - 13°15'1,985"S (canto inferior direito), foi utilizada no desenvolvimento das atividades inerentes ao estudo desenvolvido neste trabalho.

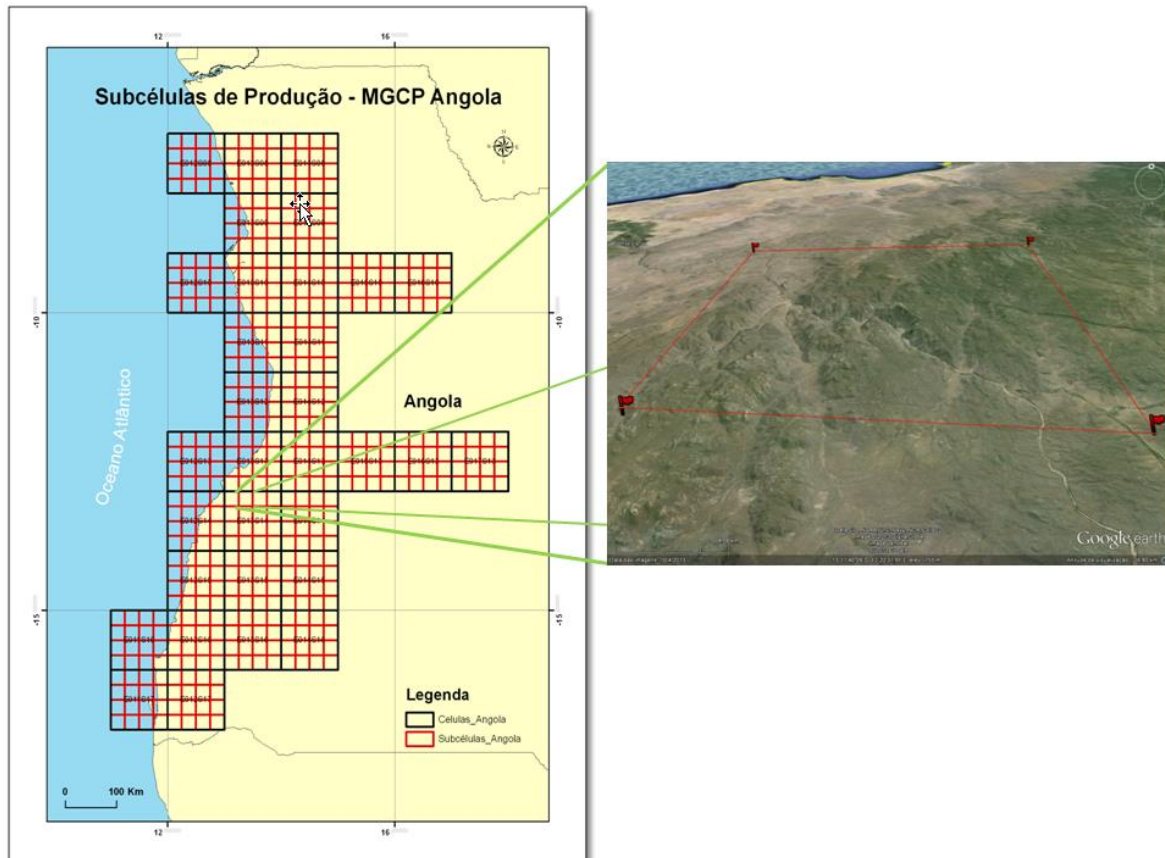


Figura 12: À esquerda: células e subcélulas de produção MGCP. À direita: enquadramento da área de estudo

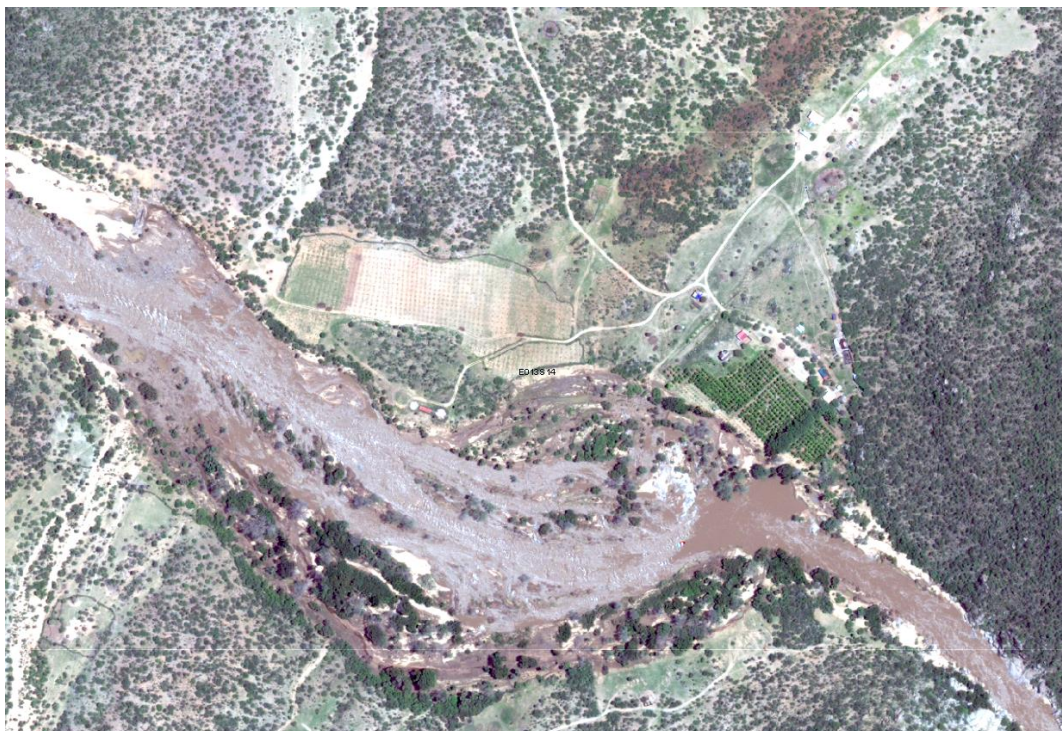


Figura 13: Exemplo de diferentes morfologias apresentadas pela área de estudo. Ortofoto *pan-sharpened*

Conhecendo-se as condições climáticas e morfológicas da região, tal área foi escolhida por não apresentar vegetação muito densa nem muito pedregosa o que dificultaria a visualização e identificação de pequenos objetos ao longo do terreno. Apesar disso, este assume diferentes morfologias (figura 13) o que é um fator importante para garantir que a investigação a ser desenvolvida possa ser aplicada a diferentes cenários.

3.3 Descrição dos dados

Os trabalhos integrantes do MGCP são realizados a partir de várias fases, das quais as principais são:

- Obtenção das imagens de satélite e correções;
- Georreferenciação e produção dos MDT;
- Criação de mosaicos de imagens, ortorretificação e criação de *pan-sharpening*;
- Vetorização das *features*;
- Validação dos dados vetorizados;
- Exportação dos dados para o formato final;
- Controlo de qualidade.

Apesar da importância que tem cada uma das fases acima apresentadas para a concretização das atividades do MGCP, uma vez que este documento não é voltado especificamente para a descrição de tal Programa, neste e nos próximos itens apenas serão focadas as que têm suma relevância para o trabalho em questão, a fim de serem satisfeitos os objetivos inicialmente propostos.

A obtenção das **fontes de dados primários** é da responsabilidade da NGA que procede às correções radiométricas e do sensor. Esta Agência também realiza a georreferenciação das imagens e produz os respectivos MDT.

Além das fontes de dados primários, outros dados de origem diversa dão apoio aos trabalhos de aquisição de informações - **dados de referência**. Os principais são:

- MDT;
- ‘ortofotos’ cedidas por autoridades e organismos oficiais;
- ‘*rasters*’ de edições antigas de cartas analógicas do IGeoE;
- ‘dados vetoriais’ já existentes (apenas as áreas de trabalho referentes ao território de Cabo Verde possuíam este tipo de dados).

Para o desenvolvimento das atividades deste trabalho, como fonte de dados primários utilizaram-se **imagens pancromáticas e multiespectrais do satélite WorldView-2** cobrindo a área de estudo. Suas características técnicas avançadas foram o fator decisivo para serem adotadas nos trabalhos do MGCP.

As imagens pancromáticas e as multiespectrais são captadas no mesmo instante (tabela 7), o que permite importantes análises técnicas (a exemplo deste estudo por comparação) a serem utilizadas em tomadas de decisão.

Dentre as imagens comerciais atualmente disponíveis ao público, as provenientes desse sensor apresentam as melhores resoluções espaciais (46cm pancromáticas e 1,85m multiespectrais), ficando um pouco a perder para as do *GeoEye-1* (41cm pancromáticas e 1,65m multiespectrais). Contudo, tal diferença é mínima e, uma vez que ambos os satélites têm origem norte-americana, suas leis para a comercialização de imagens de alta resolução a utilizadores externos aos serviços governamentais deste país só permitem a sua disponibilização com resoluções reamostradas para 50cm e 2m, respectivamente. Portanto, a diferença de resolução original não é levada em conta. Além disso, os técnicos do IGeoE de aquisição MGCP têm trabalhado com a fusão das imagens pancromáticas e multiespectrais, resultantes da aplicação do processo conhecido como *pan-sharpening*, para que as

imagens resultantes apresentem a melhor qualidade geométrica das pancromáticas beneficiadas pelas cores das multiespectrais.

Essas altas resoluções garantem a melhor identificação e aquisição de grande quantidade de objetos a comporem uma base de dados e um mapa na escala definida. Além disso, possibilitam que seja efetivada uma extração de dados com pormenor, exatidão posicional e rigor geométrico conforme os objetivos propostos para o Projeto.

Tabela 7: Data e hora de captação pelo satélite das imagens multiespectrais e pancromáticas inerentes à área de estudo

Multiespectrais			Pancromáticas		
ID	Data	Hora	ID	Data	Hora
22	22/06/11	9:46:11	92	22/06/11	9:46:11
23		9:46:12	93		9:46:12
24		9:46:13	94		9:46:13
32	27/02/11	9:46:41	102	27/02/11	9:46:41
33		9:46:43	103		9:46:43
34		9:46:44	104		9:46:44
42		9:47:06	112		9:47:06
43		9:47:07	113		9:47:07
44		9:47:08	114		9:47:08

Além da sua alta resolução espacial, conforme visto no capítulo anterior, a qualidade das imagens é principalmente realçada:

- por possuir uma resolução radiométrica de 11 bits (2.048 níveis de cinza);
- por oferecer uma melhor precisão da localização: inferior a 5m na horizontal a menos que 30° off-nadir, excluindo-se os efeitos off-nadir e do terreno, com 90% de confiança;
- pela captação de nenhuma ou de poucas nuvens, fator que dificulta a aquisição de informações cobertas por estas ou por suas sombras. Tal característica é possibilitada pelo baixo tempo de revisita do sensor, sendo de 1,1 dias no nadir e 3,7 dias a 20° off-nadir.

Além dessas importantes vantagens apresentadas em relação aos produtos oferecidos por outros instrumentos, a alta capacidade de detecção espectral (8 bandas: uma das maiores comercialmente disponível nos dias atuais) consiste numa questão muito importante em atividades que envolvem técnicas de DR e, entre outras, de mapeamento. Isto porque, uma vez que a radiação eletromagnética reage com os alvos de forma diferente de acordo com suas características e de acordo com as propriedades físico-químicas dos objetos, uma vez que as diferentes bandas espectrais apresentam entre si características distintas e os sensores captam imagens utilizando radiação eletromagnética refletida em uma ou mais regiões do espectro, isto permite que as imagens provenientes de diferentes bandas espectrais possibilitem a identificação de uma quantidade mais significativa de objetos e que possam também ter aplicações distintas e variadas.

No momento da sua aquisição pelo sensor de um satélite, as imagens sofrem distorções provocada por vários fatores, mas principalmente por causa da topografia do terreno. Assim, para reduzir tais distorções e, conseqüentemente, melhorar a precisão das imagens e a visualização dos objetos-alvo (em suma, melhorar a qualidade dos dados), é comum e de grande importância serem

utilizadas técnicas de ‘processamento digital de imagens’ (PDI), uma vez que estas ainda não são realizadas pelos satélites. Desta forma, os técnicos do IGeoE iniciam as atividades do MGCP pela realização de algumas técnicas de PDI, como a criação de mosaicos de imagens, ortorretificação e criação de *pan-sharpening*.

Os mosaicos de imagens (figura 14), compostos pela “união” de duas ou mais imagens ou extratos delas, são criados com o fim de cobrir as grandes extensões do terreno com as quais se trabalham.

Em seguida, procede-se à ‘correção geométrica’ (ortorretificação) com o objetivo de ajustar a georreferenciação original das imagens. Para que tal correção apresentasse melhor qualidade, deveriam ser utilizados ‘bases cartográficas’ ou ‘pontos fotogramétricos’ (PF), quantos mais melhor. Contudo, a aquisição de PFs da área de estudo ainda não pôde ser realizada. E, uma vez que a Carta digitalizada de Angola disponível não consiste numa base cartográfica fidedigna pelas razões que serão apresentadas no Capítulo 4, a ortorretificação das imagens foi realizada utilizando-se os MDTs respectivos.

Finalmente é realizada a fusão das ortofotos pancromáticas e multiespectrais, num processo conhecido como *pan-sharpening*, referido anteriormente. A figura 13 é um exemplo deste tipo de imagens. Contudo, para serem realizadas as comparações em termos de quantidade de elementos adquiridos e de tempo despendido para realizar as atividades de vetorização de geo-informações para a base de dados, as imagens utilizadas para a concretização deste estudo não passaram pelo processo em causa. Em outras palavras, as imagens utilizadas nos trabalhos de aquisição de dados para este projeto mantêm as resoluções originais.

A fim de poupar tempo de trabalho ao operador e espaço no servidor, uma vez que cada ortofoto de fiada contém cerca de 3GB, tais procedimentos são feitos de forma virtual¹⁹ através de ferramentas oferecidas pelo ArcGIS 10.1, estando disponível apenas a área na qual o utilizador está a trabalhar. Caso todos estes procedimentos fossem executados de forma “física” (ortofoto por ortofoto), seria ocupado muito espaço no servidor com as ortofotos pancromáticas, as multiespectrais e as *pan-sharpened*, além de que o operador perderia dias/semanas a executar os referidos procedimentos, despendendo assim muitas horas do seu trabalho.

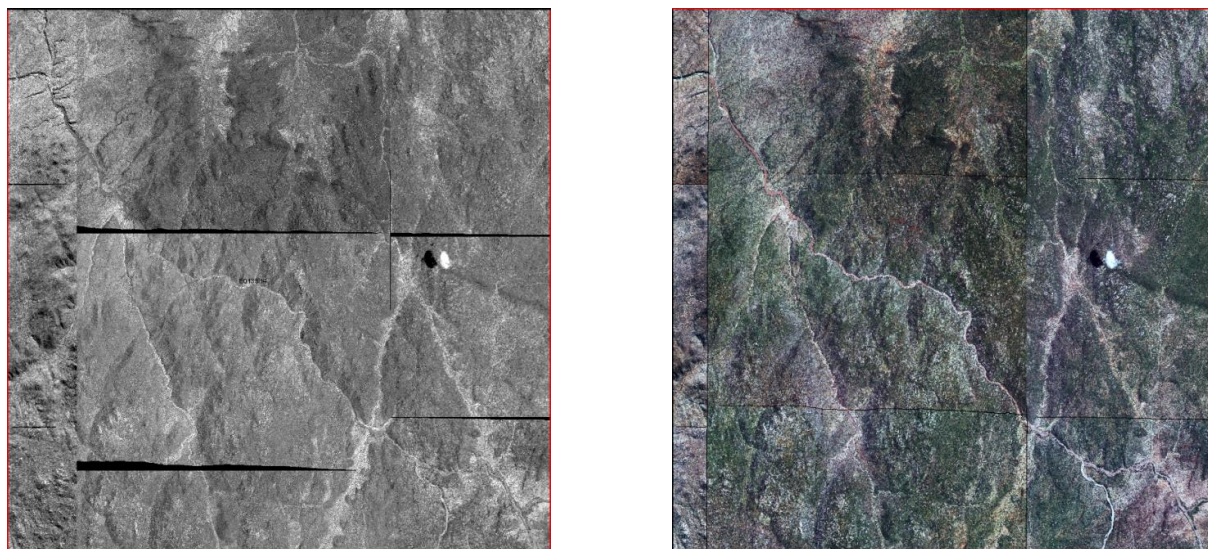


Figura 14: Mosaicos de ortofotos pancromáticas (à esquerda) e multiespectrais (à direita) da área de estudo

¹⁹ *Pan-sharpening* virtual: o *software* realiza todos os cálculos inerentes ao procedimento, utilizando o método indicado, como o do ‘Vizinho mais Próximo’, por exemplo, que é o adotado pelo IGeoE nessas atividades do MGCP. Quando determinada área é “solicitada” pelo operador, o algoritmo busca os cálculos feitos e mostra apenas essa zona na tela do computador.

Como **fontes auxiliares** da restituição (figura 15), especificamente para esta área, estão sendo utilizados o MDT e o *Raster*, correspondentes. Estes facilitam a identificação de certos objetos (principalmente dos cursos de água) e possibilitam a **aquisição indireta de dados** espaciais, como no caso da utilização do *raster* de edições antigas de cartas analógicas do IGeoE (finais da década de 1950) que apresenta dados anteriormente adquiridos, a exemplo dos nomes dos principais cursos de água, de estradas e de povoados de Angola.

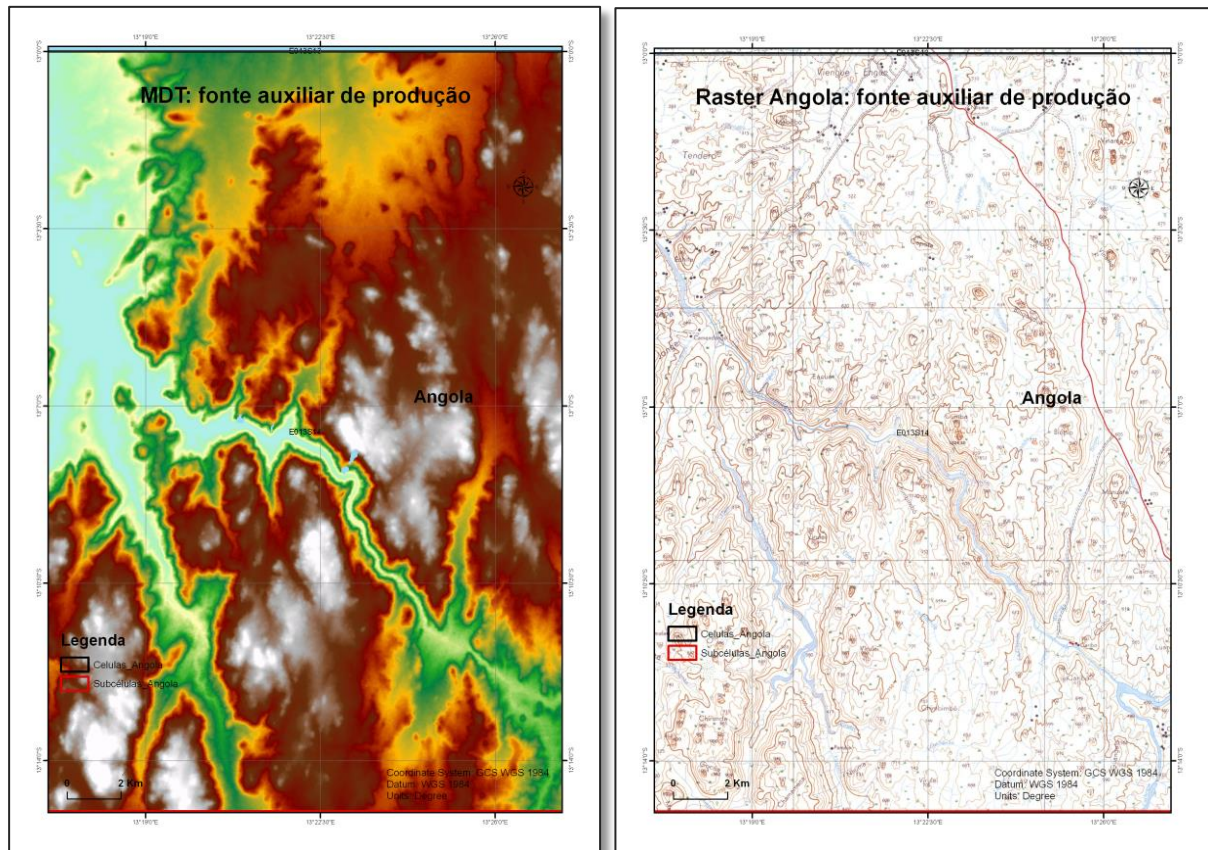


Figura 15: MDT (à esquerda) e *raster* Angola (à direita) de parte da área de estudo

3.4 Workflow das vetorizações

A metodologia adotada neste projeto está esquematizada na figura 16 e, ao longo desta brochura, referir-se-á a cada um dos tópicos que a compõem.

Neste item basta esclarecer que o processo foi iniciado com a construção de uma tabela na qual estão identificados todos os elementos geográficos a extrair. Nela foram sendo registados dias e horas de trabalho despendidos para a aquisição de cada um deles.

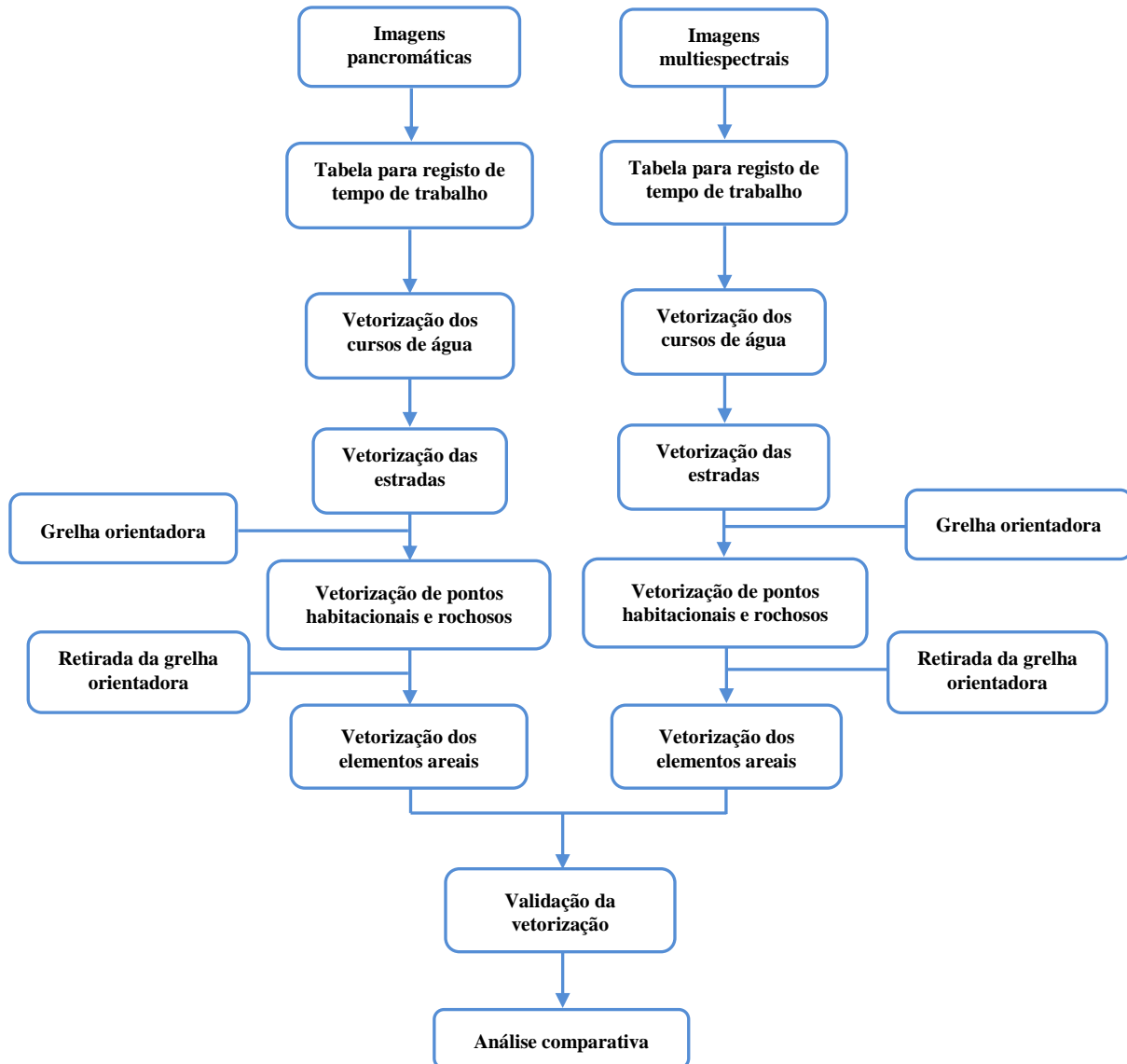


Figura 16: Diagrama representativo da metodologia aplicada

3.5 Vetorização utilizando imagens pancromáticas

3.5.1 Elementos lineares

3.5.1.1 Linhas de água

Antes de ser iniciada a descrição das atividades de vetorização propriamente ditas, julgou-se importante esclarecer que no monitor de computador de tamanho 19" a visualização de uma subcélula completa é possível na escala 1:125.000. Contudo, para serem iniciadas as atividades de aquisição direta de informações geográficas, é necessário aumentar consideravelmente a escala de visualização a qual, dependendo do tipo de objeto a ser adquirido, pode variar entre 1: 3.000 e 1:1.000, não constituindo, no entanto, valores pré-fixados.

A aquisição direta de dados espaciais para base de dados SIG no âmbito do Projeto deve ser feita de acordo com as normas MGCP constantes do TRD e do Catálogo de Objetos. Como de costume, neste tipo de atividades MGCP as aquisições de informações geográficas são iniciadas pela identificação e extração dos cursos de água nas imagens ortorretificadas, uma vez que os demais elementos geográficos, em sua maioria, dependem ou se desenvolvem em torno deles. Para tal são primeiramente adquiridos os cursos principais seguidos dos demais com auxílio do MDT e do raster.

Assim, as atividades foram iniciadas pela vetorização de 'linhas de água' (cursos de água que fluem naturalmente na superfície terrestre) atentando-se para tais regras, dentre as quais, para a escala definida, a principal é adquirir as que possuam comprimento $\geq 300\text{m}$ e distância entre as suas margens $< 25\text{m}$. Além disso, o espaço entre duas linhas deve ser $\geq 200\text{m}$.

Iniciadas essas atividades na escala de visualização de 1:3.000 e utilizando-se como fonte de dados primários as imagens pancromáticas ortorretificadas do *WorldView-2* as quais apesar de apresentarem uma resolução espacial de 48cm no terreno, sentiram-se logo algumas dificuldades que serão descritas a seguir.

Em terrenos mais planos, diferenciar algumas linhas de água de caminhos (principalmente os do tipo pé-posto ou trilha humana) foi a primeira dificuldade sentida face ao aproveitamento dos leitos secos dos rios como estradas, pois pessoas e alguns animais, como de costume, preferem lugares onde não há maiores discrepâncias entre os ambientes, preferindo os mais baixos e planos para se locomoverem, pois assim não há necessidade de despender maiores esforços físicos durante estas atividades. Contudo, uma vez que consta como regra para aquisição dos caminhos, os leitos secos de alguns rios também foram adquiridos como tal.

Em ambientes onde há menos movimentos humanos ou de animais, seja por serem mais remotos, seja por serem mais secos, a vegetação por vezes cobre os cursos de água. Assim, uma vez que não há cores que permitam diferenciar tons de verde mais claros dos mais escuros dessa vegetação que indicam maior presença de humidade e, na maioria das vezes, leitos de rios, sentiu-se certa dificuldade em identificar tais elementos pela utilização desse tipo de imagens.

De qualquer forma, as dificuldades acima citadas foram vencidas com a utilização da carta digitalizada de Angola de 1950 e do MDT da área de estudo, sem os quais acredita-se que não teria sido identificada metade da quantidade das linhas de água que foram captadas neste trabalho.

Apesar das dificuldades sentidas, ainda durante a aquisição dessas linhas percebeu-se a existência de um número maior de linhas de água do que os apresentados pelo raster. Também se notou melhor a hierarquia dos rios e seu correto posicionamento, como pode ser visto na figura 17. Tais percepções foram facilitadas tanto pela boa qualidade e pela alta resolução das imagens de satélite utilizadas quanto pelo MDT (figura 18), os quais podem ser postos hoje em dia à disposição para serem usados como mais-valia em trabalhos como este, em oposição à pouca tecnologia existente neste ramo na época da produção da carta utilizada.

Daqui segue-se com a vetorização das estradas, adotando-se o mesmo procedimento utilizado na aquisição dos cursos de água.

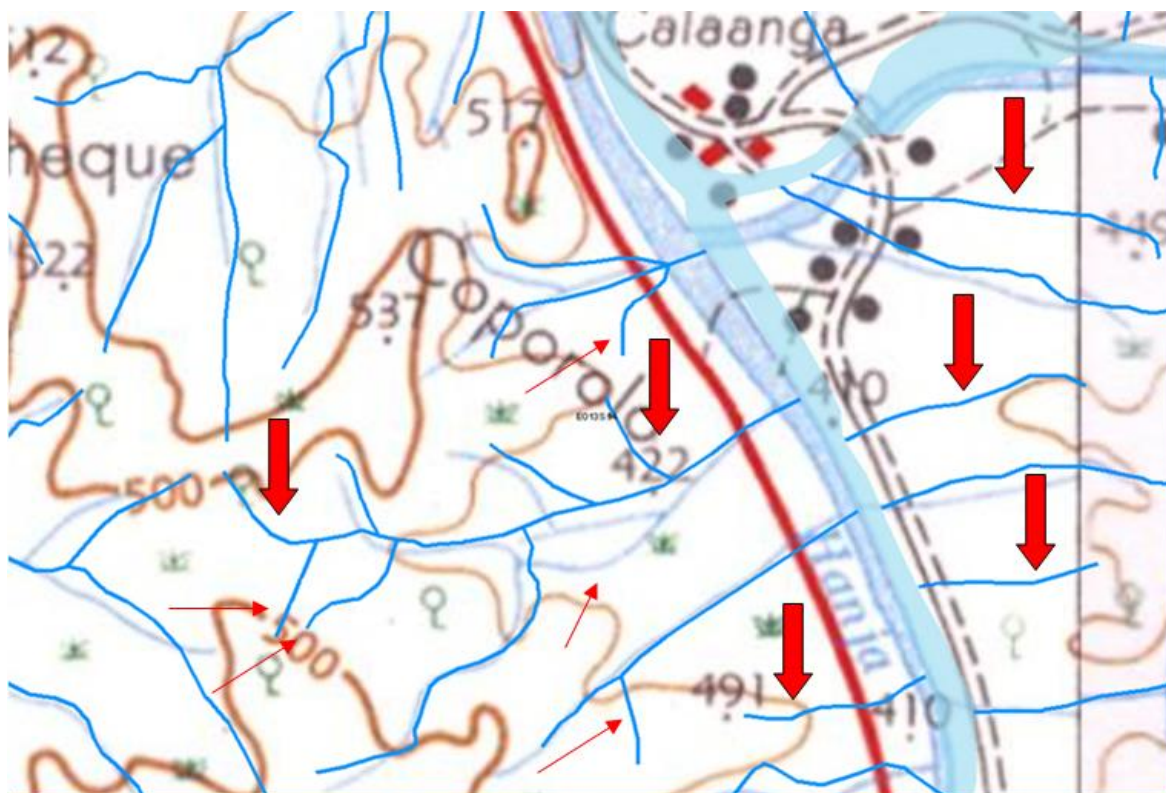


Figura 17: Raster Angola e cursos de água vetorizados de parte da área de estudo

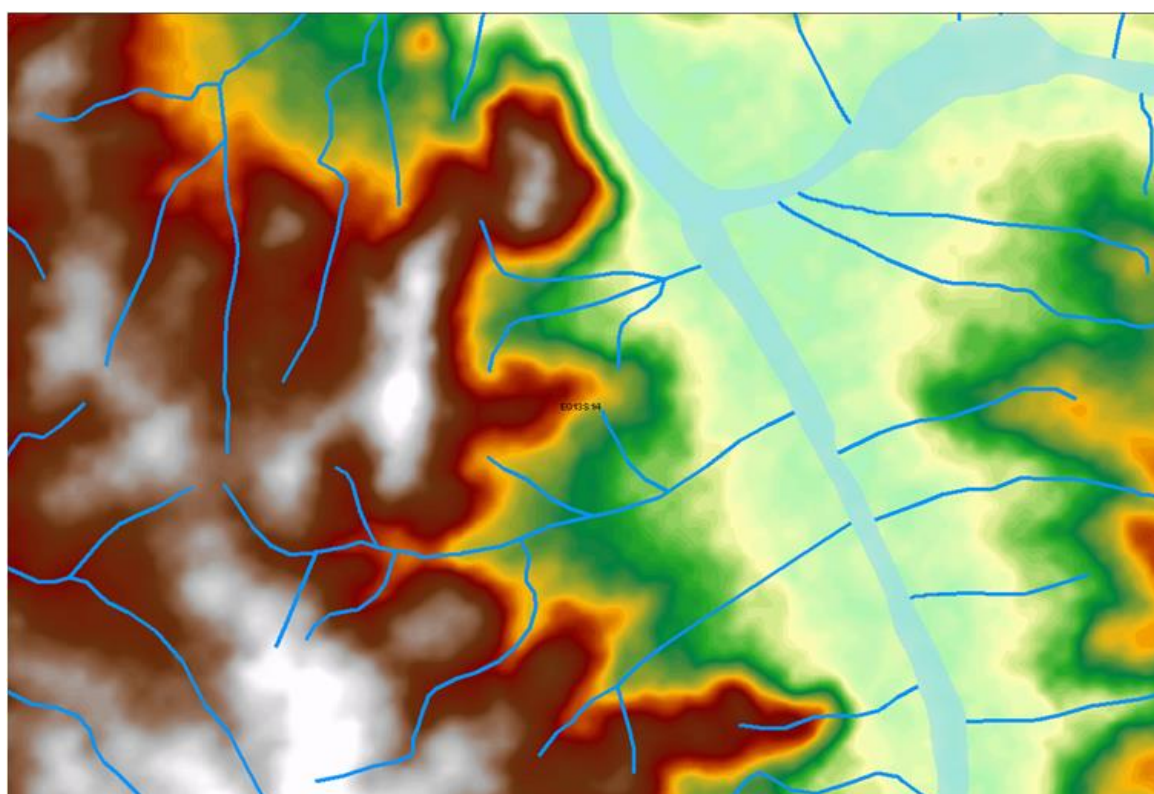


Figura 18: MDT e cursos de água vetorizados de parte da área de estudo

3.5.1.2 Estradas

Para a aquisição deste tipo de elementos, o Catálogo de Objetos esclarece genericamente que estes “aparecem como linhas retas em áreas abertas e planas, apresentando curvas frequentes e desvios para evitar obstáculos.” Esses elementos não são tratados como homogêneos, pelo que o operador ainda deve ter atenção a outros fatores a fim de diferenciar entre um e outro tipo de caminhos: a largura e o comprimento.

Assim, de acordo com tal documento, em todos os casos estes elementos devem ter comprimento $\geq 300\text{m}$. Quanto à classificação, esse explica que um caminho cuja largura entre suas margens seja $< 1,5\text{m}$, suficiente para passar apenas homens ou animais de carga seguindo por superfícies de menor resistência, muitas vezes em zigue-zague até encostas mais íngremes e em desvios para evitar obstáculos, além de que em imagens pancromáticas a superfície natural apresenta-se num tom claro de cinza, deve ser recolhido como **trilha humana** ou **pé-posto** (*trail*). Já os que nessas mesmas imagens possuem superfície natural apresentando-se também num tom claro de cinza, mas com dois sulcos paralelos, especialmente quando atravessam solos macios, e com uma largura $\geq 1,5\text{m}$ e $< 2,5\text{m}$, embora susceptível de apresentar irregularidades ao longo do seu comprimento, este deve ser extraído como **trilha de carro** ou **caminho carreteiro** (*cart track*). E aqueles que têm largura $\geq 2,5\text{m}$, com arestas retas e bem definidas, com tendência a ser mais curvas em áreas montanhosas, a apresentar curvas fechadas em terrenos ondulados e podendo atravessar terrenos muito íngremes, devem ser adquiridos como **estrada** (*road*).

Durante a procura por linhas indicadoras de meios de locomoção, não houve grandes dificuldades em identificar e diferenciar ‘caminho carreteiro’ de ‘trilha humana’, pois além da largura, a dupla marca indicadora de passagem de rodas era bem visível no tipo de imagens utilizado, pelo que facilitou a extração dos dois tipos de caminho em questão para a base de dados.

Em alguns casos, contudo, a ausência da dupla marca acima citada gerou certa dúvida quanto ao tipo de caminho a adquirir, sendo esta provocada ora pelo fato de o caminho ser parcialmente encoberto por vegetação mais densa (figura 19) ou devido ao ângulo de visada do sensor, ora por coincidirem e, assim, sendo confundidos com os leitos secos dos rios, conforme visto no subitem anterior.

Noutras ocasiões os caminhos apresentavam-se quase imperceptíveis devido à pouca utilização dos mesmos ou devido à resposta espectral do solo que os tornavam da sua mesma cor impedindo a fácil visualização (figura 20) e, conseqüentemente, sua classificação. Nestes casos a avaliação deve-se estender além do local a ser vetorizado a fim de se verificar qual o tipo de caminho que foi extraído até àquela determinada área. De qualquer forma, um certo tipo de caminho pode se estender por longas extensões e ser interrompido para dar lugar a outro, caso em que a avaliação anterior não se aplica. Desta forma, há um outro critério a ser levado em conta nestes trabalhos: a experiência ou “treino do olho” do operador. Assim, a exemplo da figura 21, uma vez que o caminho vetorizado até a área em que ocorreu a dúvida de classificação foi de determinado tipo - neste caso, carreteiro - e uma vez que após esta zona o tipo permaneceu o mesmo, decidiu-se pela classificação do caminho intermédio como tal.

Independentemente do tipo de objetos a vetorizar, a visualização de algumas áreas às vezes torna-se dificultada pela presença de nuvens, mesmo se tratando de imagens provenientes de satélites com poucos dias de revisita, como é o caso do *WorldView-2*.

A utilização de fontes auxiliares em ocorrências como essas têm sua importância realçada, permitindo a captura de certos objetos. Neste trabalho, como pode se ver na figura 22, objetos dispostos nas áreas cobertas pela nuvem e pela sua sombra não podem ser visualizados. Contudo, a utilização do MDT e do raster aliada a alguma experiência do técnico permitiram a completagem de vetorização de uma ‘linha de água’ e de um ‘caminho carreteiro’ que passam por estas áreas (figura 23).

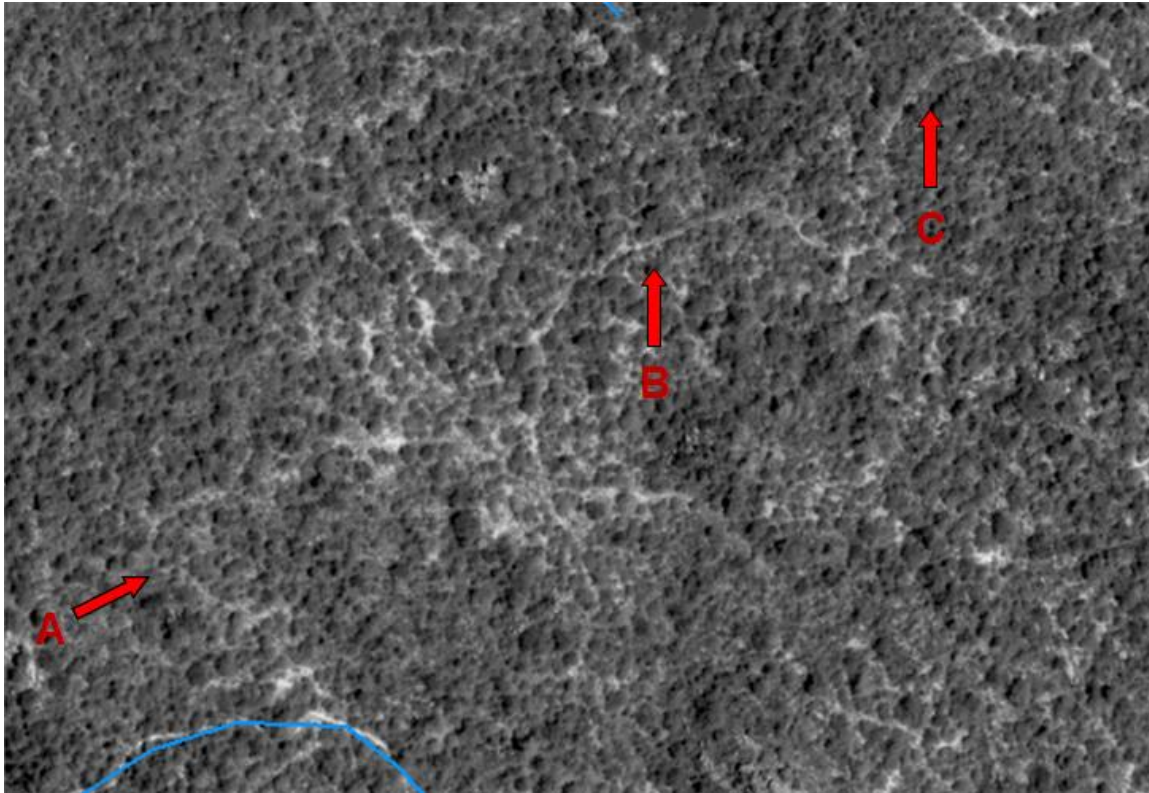


Figura 19: Em 'A':, confusão quanto ao tipo de caminho a vetorizar, ofuscado principalmente pela vegetação circundante. Em 'B' e em 'C': clara evidência de caminho do tipo “carreteiro”

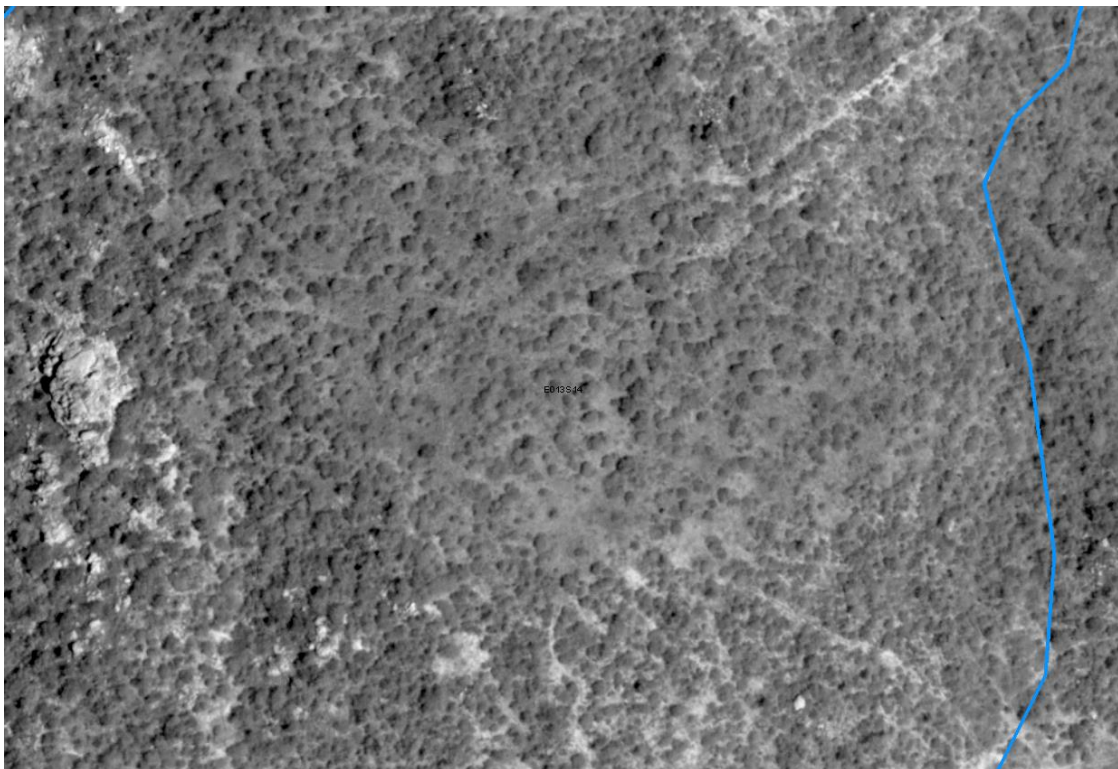


Figura 20: Dificuldade de visualização do ‘caminho carreteiro’, ofuscado pela resposta espectral do solo

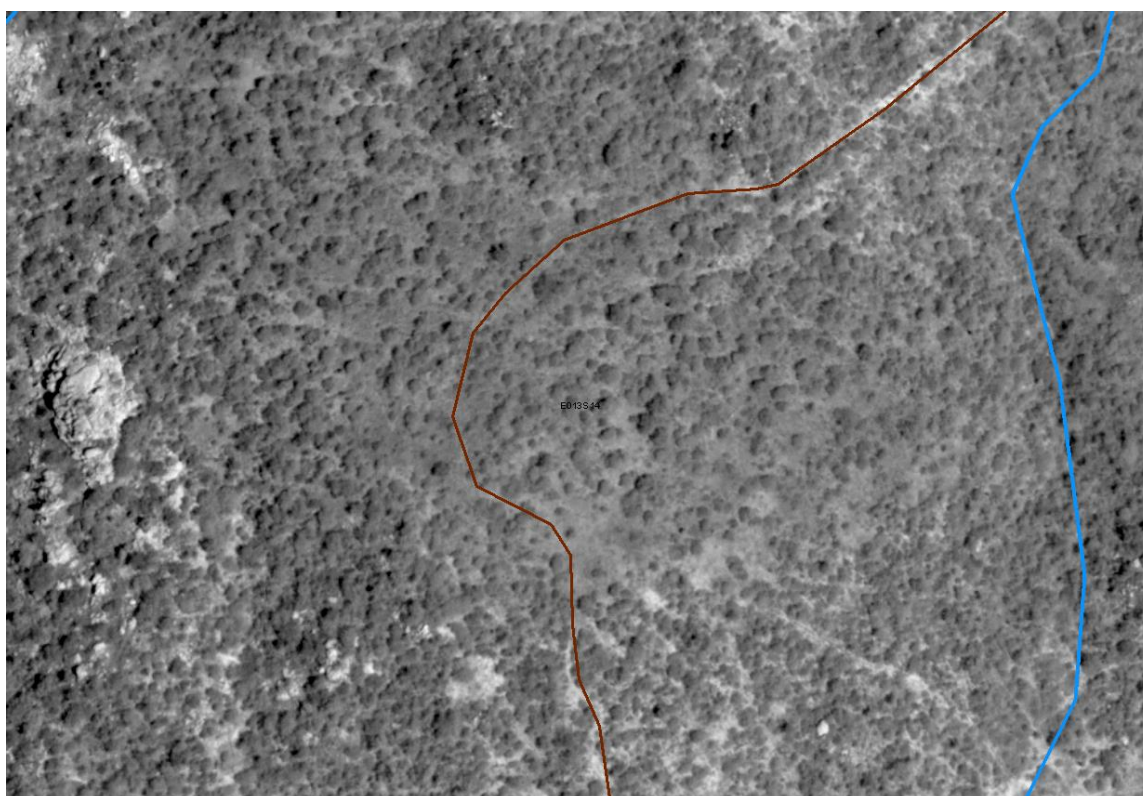


Figura 21: 'Caminho carreteiro' (castanho) vetorizado (13°21'36,434"E 13°6'5,252"S)

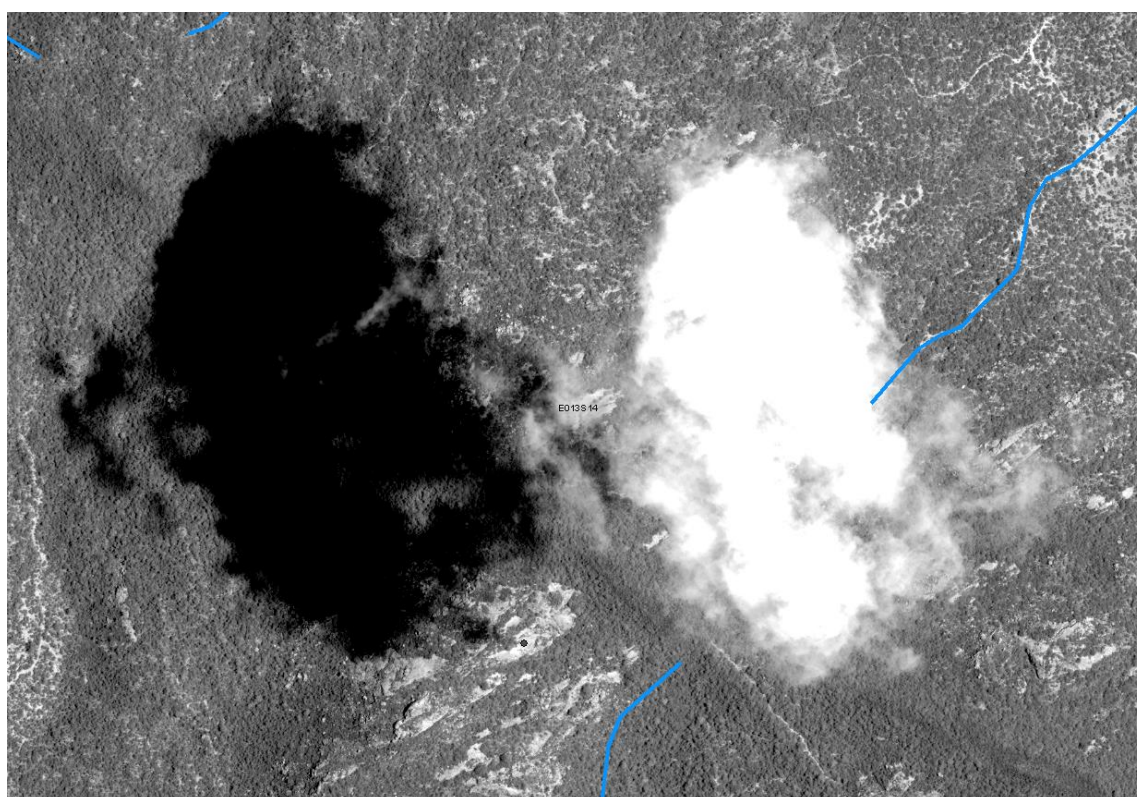


Figura 22: 'Caminho carreteiro', 'linha de água' e possíveis outros objetos não visualizados sob a nuvem e sua sombra

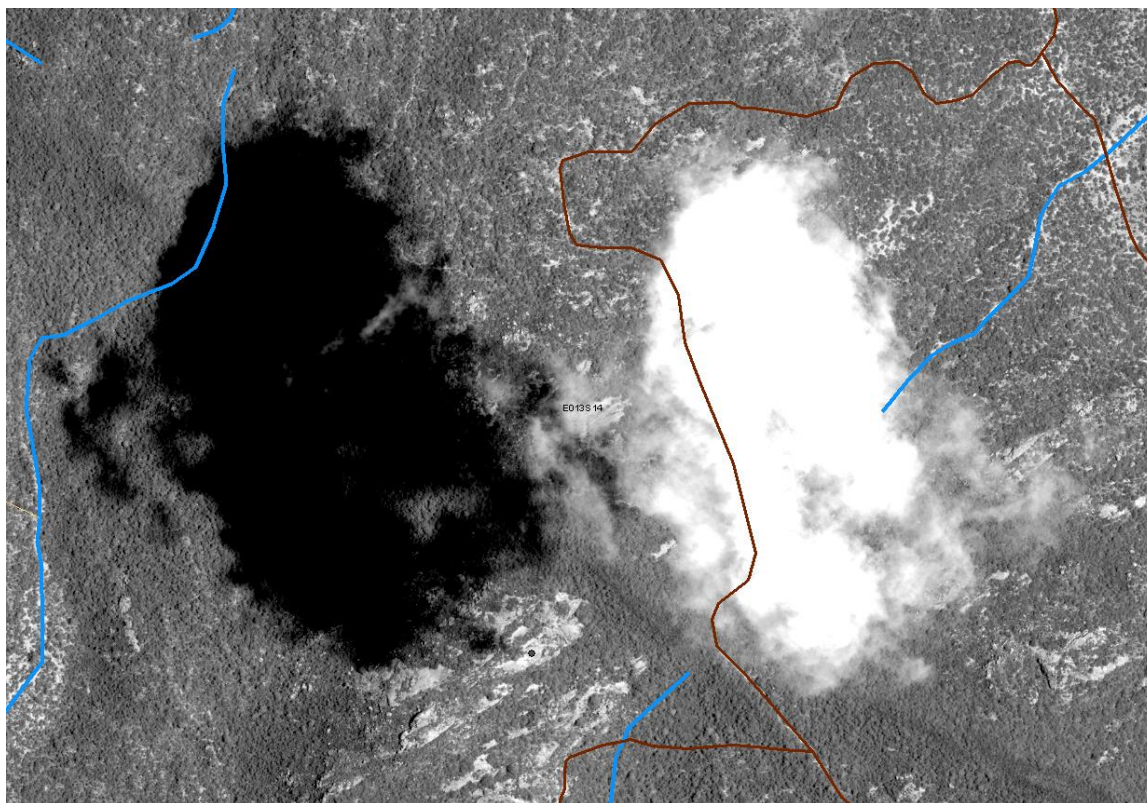


Figura 23: 'Caminho carreteiro' (castanho) sob a nuvem e linha de água (azul) sob sua sombra, vetorizados

3.5.2 Elementos pontuais

No que toca a aquisição de elementos pontuais para a base de dados MGCP independentemente de sua classificação, um único critério deve ser tido em conta de acordo com o Catálogo de Objetos: o espaçamento entre eles deve ser $\geq 35\text{m}$.

Existentes em praticamente todas as culturas nômades, sendo caracterizadas pela sua construção rápida e barata com materiais naturais como barro, gelo, couro, palha, ramos e/ou folhas de palmeiras, as **cabanas** (*hut points*) podem ser utilizadas apenas como residência humana temporária, pelos que acompanham o movimento sazonal de gado, por exemplo, conforme descrição presente no citado catálogo.

A exemplo das cabanas utilizadas pela maioria dos africanos como refúgio habitacional, alguns objetos tornam-se quase ou mesmo imperceptíveis devido à sua pequena dimensão se comparada com a de casas e de edifícios de vários andares tão comuns nas comunidades europeias. Além disso, a movimentação das imagens pelo monitor de um computador em busca de elementos como esses pode levar o operador a uma confusão tal provocada ora pela repetição de visualização de algumas áreas, ora pela ocultação de outras implicando em diminuição da qualidade dos trabalhos de aquisição de geo-informações e em perda de tempo.

Dessa forma, após a extração das estradas, com o objetivo de não cair em tal confusão, foi criada uma grelha (figura 24) com células de $1.000\text{m} \times 665\text{m}$, aproximadamente, para servirem como orientadoras na consecução das atividades pela vetorização de objetos pontuais. A aquisição desses elementos foi iniciada pela procura exaustiva por 'habitações isoladas' ou 'cabanas' cuja identificação é facilitada principalmente pela proximidade de cursos de água e de estradas.

A identificação de alguns desses elementos na área de estudo a partir das imagens

pancromáticas foi um pouco difícil, tendo sido facilitada pela existência de um padrão que, embora não tendo sido unânime na região, é muito utilizado nas construções feitas pelos habitantes do continente africano. Esse padrão, como pode ser visto nas figuras 25 e 26, é representado por cercas em volta das cabanas, provavelmente com a principal função de proteção contra ataques de animais.

A identificação das demais habitações, além de ser facilitada pela proximidade dos elementos lineares acima citados (figura 27), também o foi pela proximidade dos cercados. Contudo, nos casos em que ocorreram dúvidas quanto à identificação deste tipo de objetos, posto que podem ser facilmente confundidos com formações rochosas pontuais (figuras 28 e 29), é costume optar-se pela não vetorização.

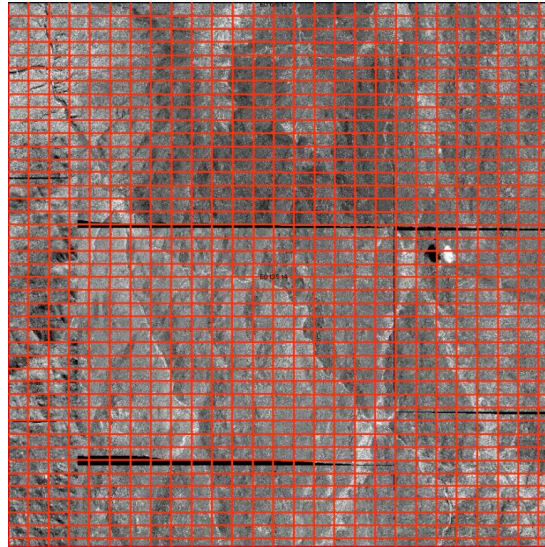


Figura 24: 'Grelha orientadora' nas atividades de vetorização de elementos pontuais

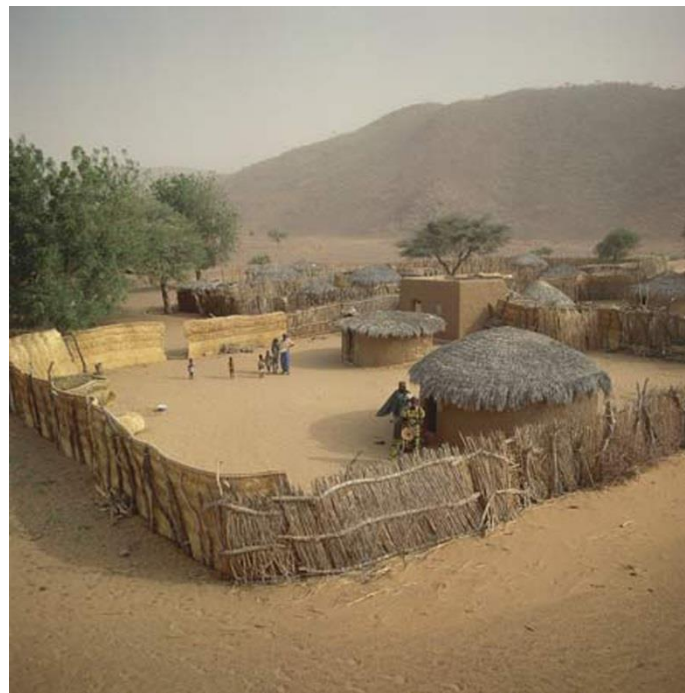


Figura 25: Exemplo de cabanas cercadas, comumente utilizadas por comunidades africanas (Britannica, 1989)

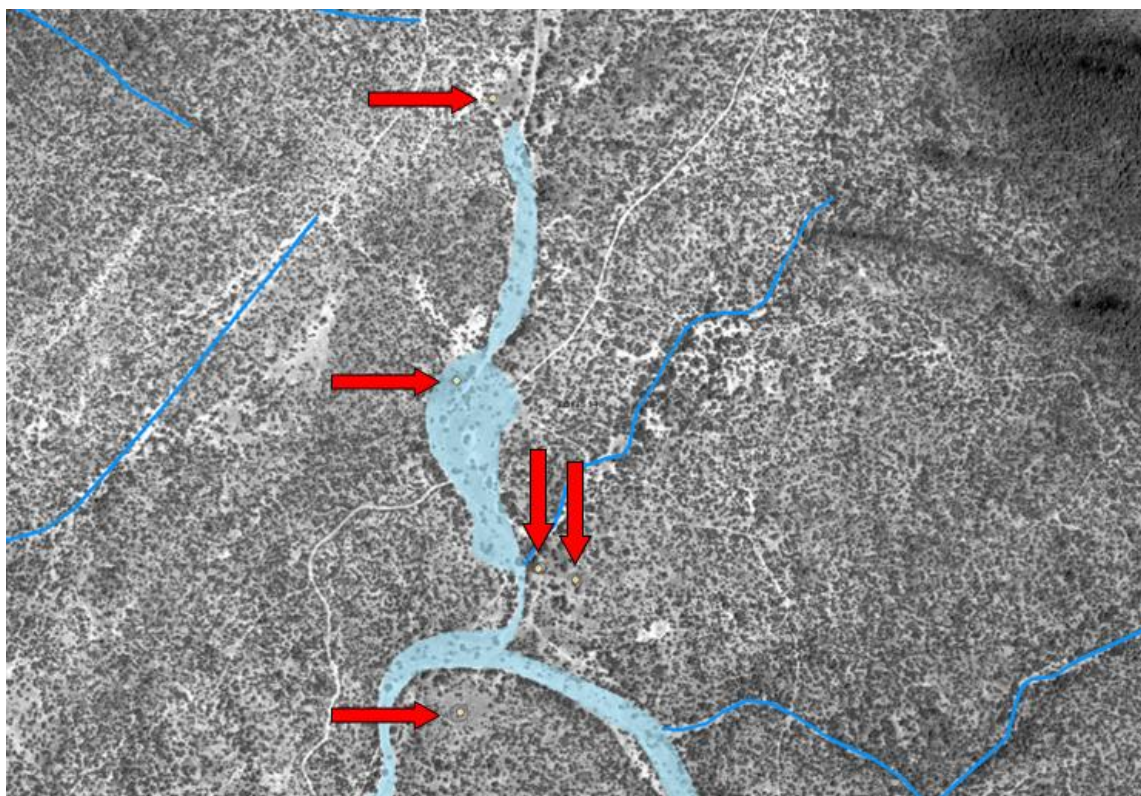


Figura 26: Cabanas cercadas, vetorizadas

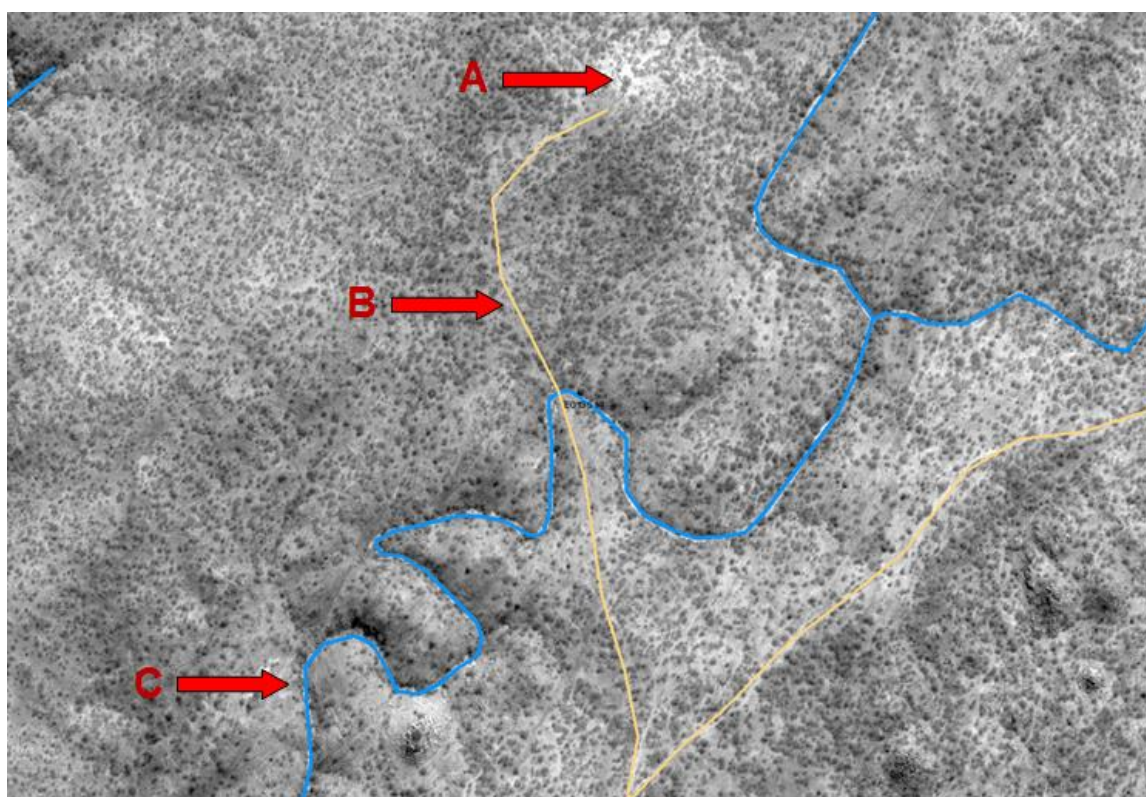


Figura 27: 'Cabana' (A) identificada pela proximidade de 'trilha humana' (B, amarelo) e 'linhas de água' (C, azul), vetorizadas

Outra dificuldade sentida foi aquando da identificação deste tipo de elementos nas margens dos rios, provocada, por vezes, pela dúvida surgida ao se tentar distingui-los de objetos pontuais rochosos ou de vegetação (figura 28) e, outras vezes, pela resposta espectral do solo das margens posto ser, em algumas ocasiões, igual à das cabanas.



Figura 28: Prováveis 'cabanas' ribeirinhas não vetorizadas

Ao mesmo tempo em que se iniciou uma busca exaustiva pela identificação de cabanas pontuais, a identificação e vetorização de outros elementos deste tipo também foram sendo realizadas, como as de **construções** (*building*), que são caracterizadas por serem feitas com certa altura de modo que se destacam de superfícies circundantes, por serem cobertas, geralmente muradas e se encontram em áreas mais desenvolvidas, relacionadas com 'estradas', 'trilhas humanas' ou 'caminhos carreteiros' bem visíveis. Para serem classificadas como objetos pontuais, elas devem apresentar-se isoladas (figura 29) ou em agrupamentos com área < 625m².

Também foram identificados e vetorizados elementos pequenos que também servem como habitação humana conhecidos como **barracos** (*settlement*). Estes objetos são feitos de estruturas fixas leves, naturais ou sintéticas (semelhantes às construções que dão origem às favelas de centros urbanos), definindo locais de habitação semi-permanentes cujo acesso é feito através de 'trilha humana', não se descartando, contudo, o acesso via 'caminho carreteiro' ou 'estrada'. Tais elementos devem apresentar-se isolados ou em agrupamentos com área < 15.625m² para serem considerados como ocorrências pontuais e, apesar de se assemelharem com as 'construções', não são reconhecidos oficialmente como tal. Assim sendo, estes elementos não fazem parte de uma área urbana, mas deve-se-lhes, contudo, atribuir o nome de uma localidade ou de um povoado, caso se encontre próximo a um destes. Como exemplo para tais definições apresenta-se na figura 30, representado por um ponto verde, o 'barraco' vetorizado ao qual foi atribuído o nome de um povoado, Calaanga, que por sua vez recebe o nome da localidade.

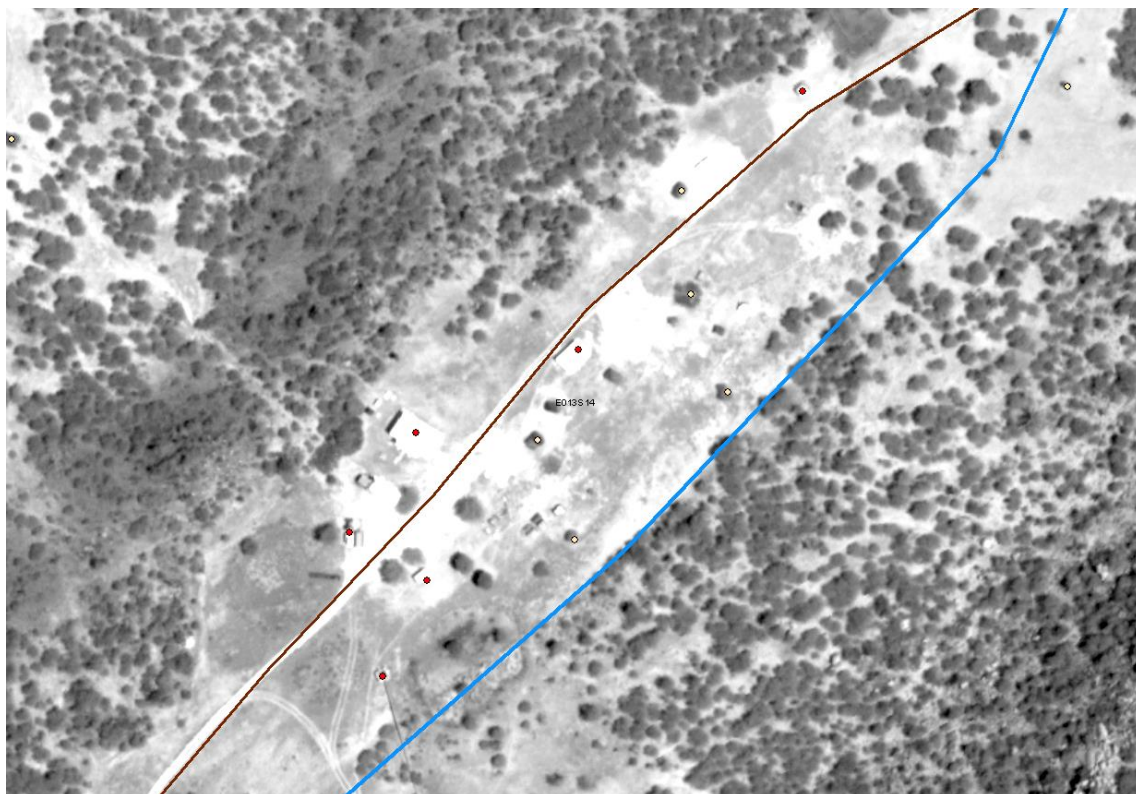


Figura 29: ‘Construções’ (pontos vermelhos), ‘cabanas’ (pontos amarelos), caminho carreteiro (linha castanha) e linha de água (linha azul), vetorizados

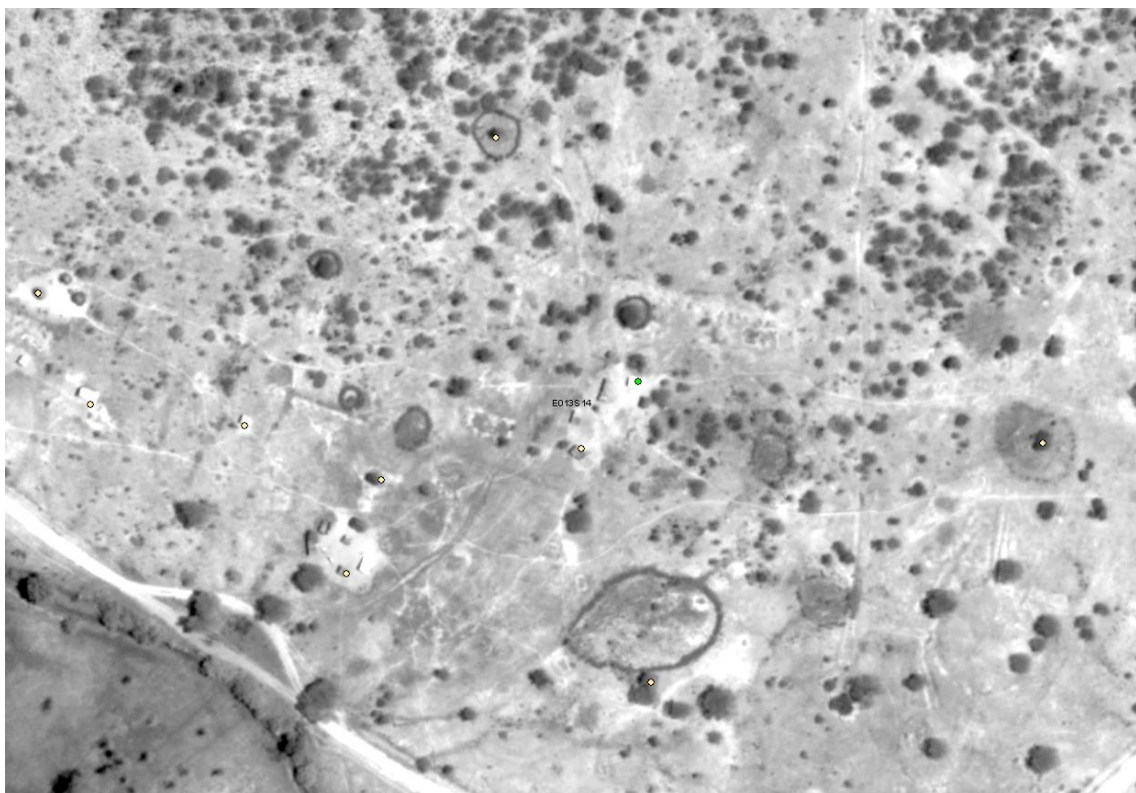


Figura 30: ‘Cabanas’ (pontos amarelos) e ‘barraco’ Calaanga (ponto verde), pontualmente vetorizados

Durante os trabalhos de aquisição dessas geo-informações a partir das imagens pancromáticas, encontrou-se ainda muita dificuldade em diferenciar ‘construções’ de ‘barracos’, pois excetuando-se pelo grande tamanho apresentado por algumas ‘construções’ quando comparado com o dos ‘barracos’, a forma geométrica e a resposta espectral apresentada por ambos são idênticas. Assim sendo, uma vez posta a dúvida, optou-se mais uma vez pela não vetorização dos segundos elementos citados, a exemplo das cabanas, anteriormente descrito.

Além da vetorização dos elementos pontuais anteriormente referidos, foi sendo feita a identificação e vetorização de elementos rochosos. Essas formações são descritas pelo Catálogo como afloramentos significativos de rocha exposta, devendo ser extraídas como pontuais as que apresentem área $< 15.625\text{m}^2$. Além disso, o operador deve levar em consideração de vetorização apenas as que são bem visíveis numa escala de visualização de 1: 15.000 (figura 31), aproximadamente, tendo em conta a densidade de objetos a serem adquiridos na escala definida.

Em ambientes semi-áridos como o da área de estudo, é comum serem vistas e identificadas tais formações. Em alguns casos, contudo, encontra-se certa dificuldade de as destacar de certas ‘cabanas’ circundadas por ‘solo exposto’, uma vez que a resposta espectral de ambos é igual (figura 28), pelo que, entre vários fatores (como a resolução e a qualidade da imagem, por exemplo), o ‘treino do olho’ do operador e principalmente a proximidade de outras geo-informações ganham mais uma vez destaque.

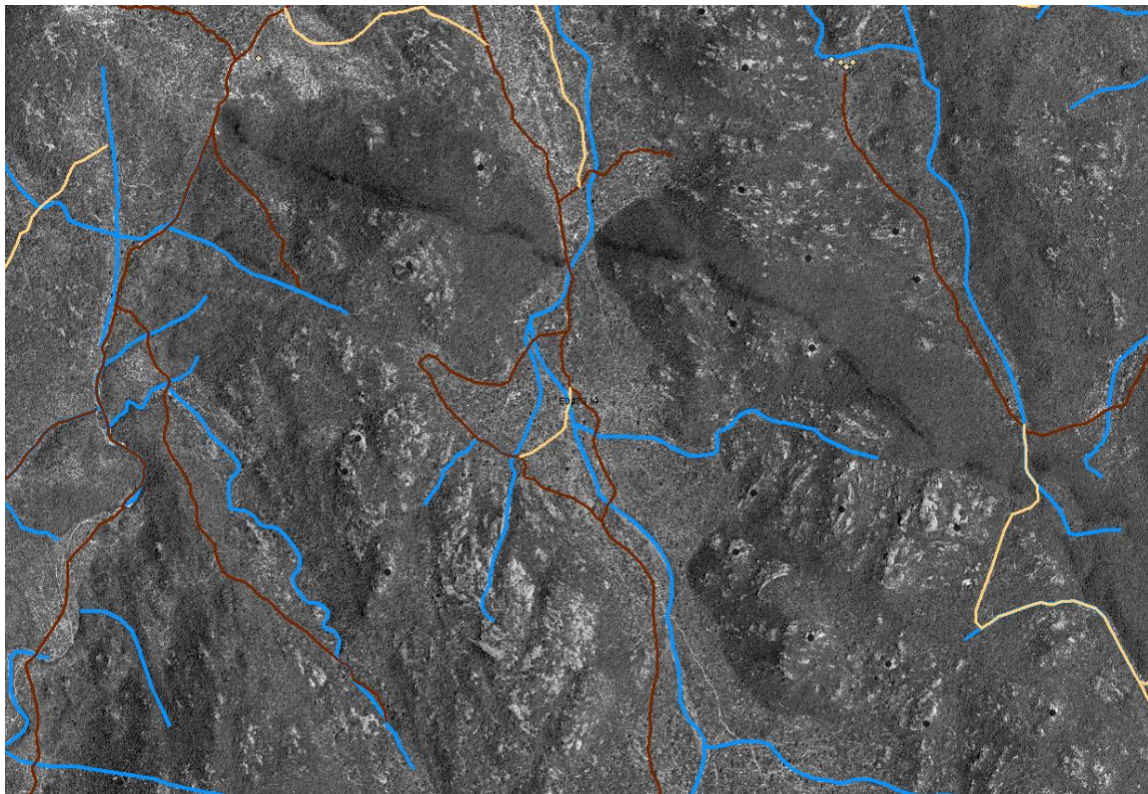


Figura 31: ‘Formações rochosas pontuais’ (pontos pretos) vistas na escala de visualização de 1:15.000

Dados como encerrados os procedimentos de extração de geo-informações pontuais para base de dados SIG, retirou-se a ‘grelha orientadora’ anteriormente descrita, uma vez que não influencia na aquisição de objetos areais.

3.5.3 Elementos areais

3.5.3.1 Rios área e zonas de cultivo

Com o objetivo de completar as atividades de aquisição de geo-informações para base de dados SIG, deu-se prosseguimento aos trabalhos pela aquisição dos objetos areais, iniciando-se pela identificação e extração dos rios área.

Seguindo-se as mesmas regras de captura para os rios lineares, foram capturados os elementos com comprimento $\geq 300\text{m}$, cujo espaço entre eles é $\geq 200\text{m}$. Além destas, quanto ao espaço existente entre suas margens, este deve ser $\geq 25\text{m}$, mesmo que haja alguma variação para valores inferiores a este ao longo do seu comprimento, desde que esta variação não tenha comprimento igual ou superior a 300m (figura 32).

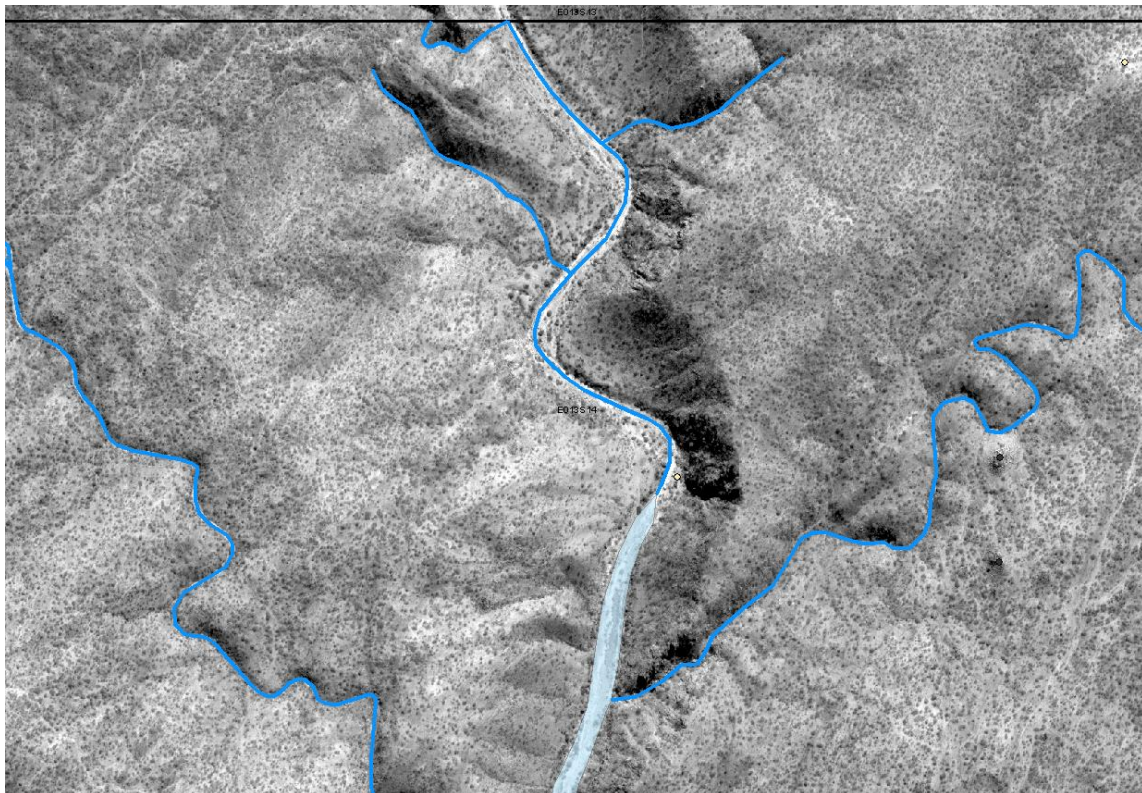


Figura 32: Rio área interrompido para dar lugar a um rio linha com comprimento $> 300\text{m}$

O conhecimento do clima da região facilitou, em alguns casos, aquando da classificação desses rios quanto à sua drenagem, tendo sido em sua maioria capturados como secos, ou seja, os que apenas possuem água nos períodos chuvosos ou de alagamento. Contudo, neste tipo de rios a presença de vegetação não marca nomeadamente as suas margens, estendendo-se também em alguns casos pelo leito seco. Tal fator, associado à falta de cores das imagens pancromáticas, dificultou a identificação e vetorização das margens de alguns dos rios em questão.

Além disso, diferenciar entre rios perenes e intermitentes nem sempre é uma tarefa fácil utilizando-se apenas imagens pancromáticas. Isso porque, mesmo sendo conhecidas as condições climáticas da região em estudo e seguindo-se as indicações das bem definidas regras presentes no Guia de referência, o operador nem sempre pode confiar unicamente nestas bases, pois o leito escuro que pode indicar presença de água, por exemplo, nesse tipo de imagens apenas pode representar solo húmido ou encharcado que não propriamente contém água e nem indica rio do tipo perene uma vez

que, em casos como estes, pode apresentar uma resposta espectral semelhante à da água e, assim, induzir o operador a classificar o rio para a base de dados erroneamente como perene.

Quanto a essas questões, chama-se especial atenção pela indução em erros de vetorização que a falta de cor dessas imagens pode causar e, conseqüentemente, provocar erros de análises posteriores.

Cultivar áreas após o período de alagamento é costume praticado por diversas culturas desde tempos mais antigos, a exemplo do realizado no Egito após os períodos de cheia do Rio Nilo. Para a aquisição de 'rios área' e de 'zonas de cultivo' especialmente nesses locais, deve-se dar prioridade à do rio, desde que satisfaça as condições de largura e de comprimento acima citadas. Apenas nos casos em que as 'zonas cultivadas' sejam suficientemente grandes ou importantes para serem mostradas, estas devem ser vetorizadas sobrepondo-se ao rio.

Conforme o exemplo acima descrito, na área de trabalho foram encontrados cultivos próximos aos leitos secos, intermitentes ou perenes de alguns rios, o que provocou certa dificuldade na diferenciação entre suas margens (leito maior) e os limites da 'área cultivada' (figuras 33 e 34). Quanto a este último elemento uma outra questão pode ser referida como obstáculo à sua identificação: a ausência de culturas em solos dedicados a estas atividades, na altura da sua preparação para o cultivo ou simplesmente em tempo de transição para o plantio (figura 35 A). Na figura 35 B foram identificadas zonas cultivadas e, os seus arredores, por estarem próximos a rios com presença de água, acredita-se que se tratam de solos em preparação para o plantio. No entanto, posta a dúvida pela falta de cor que os identifiquem, não foram vetorizados como tal.

No exemplo apresentado pela figura 33 onde aparece uma área de cultivo com extensão de 352m x 45m, aproximadamente, às margens de um rio aqui classificado como perene, o Coporolo, a causa foi resolvida (figura 34) atentando-se para as normas de extração e para a utilização do MDT.

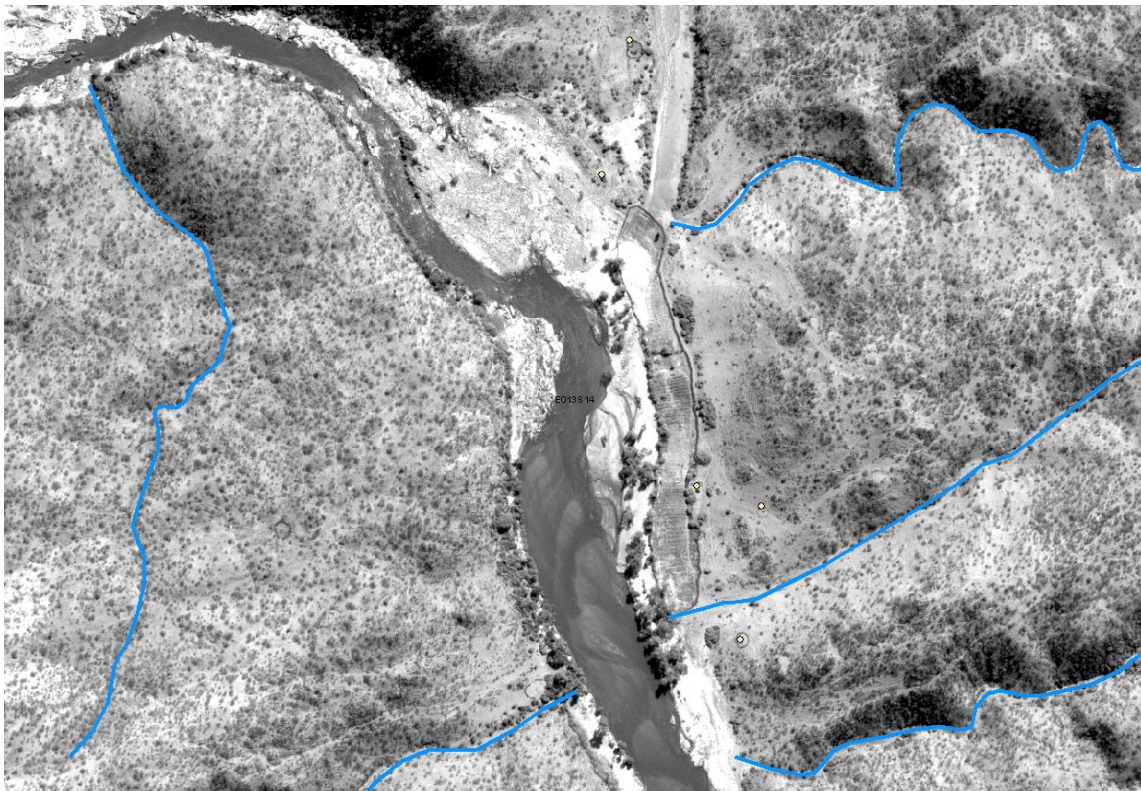


Figura 33: Área de cultivo desenvolvida às margens de um rio área

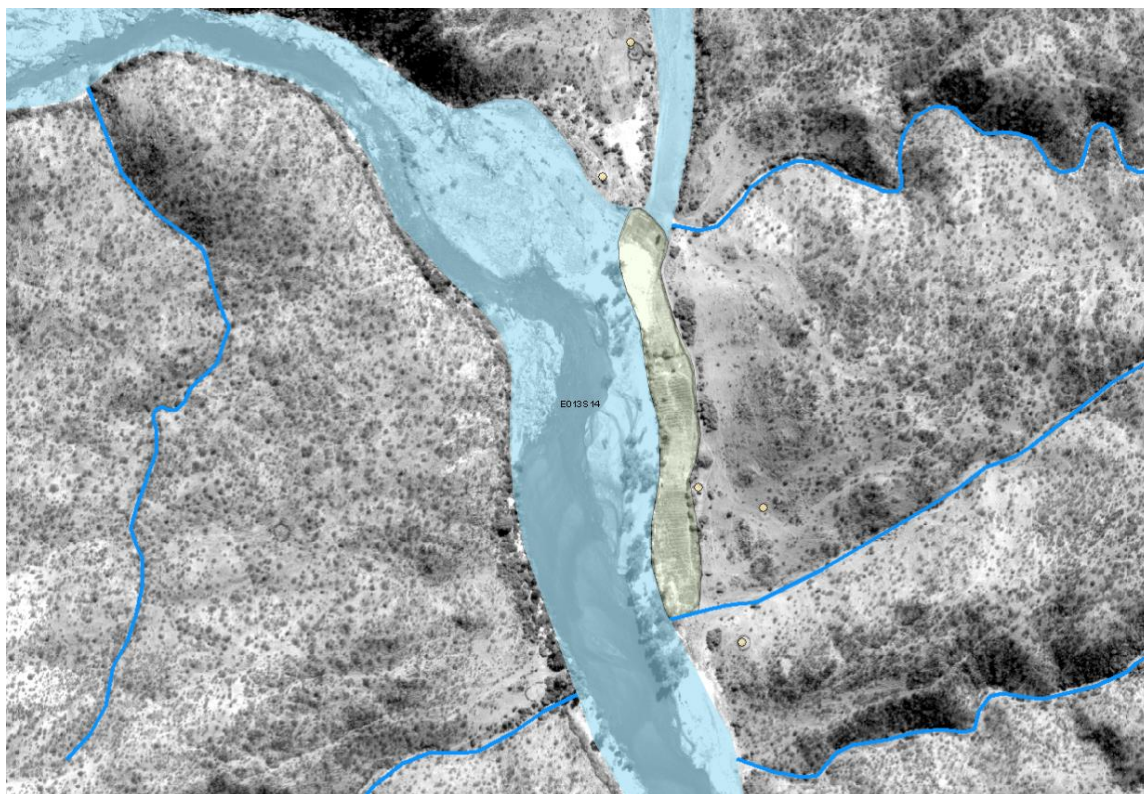


Figura 34: Área de cultivo (verde oliva) e um rio área perene (azul), vetorizados



Figura 35 A: 'Área de cultivo' com espaços em provável preparação para o plantio, desenvolvida às margens de um rio área (Coporolo)



Figura 36 B: ‘Área de cultivo’ com espaços em provável preparação para o plantio, desenvolvida às margens de um rio área (Coporolo), vetorizados

No caso do MGCP, em que as normas estão muito bem definidas, e verificando-se as cotas do terreno pelo uso do MDT, a vetorização de elementos como estes com maior precisão torna-se mais fácil. Contudo, o uso apenas de imagens pancromáticas em atividades que envolvam extração de elementos como os descritos neste tópico (figuras 35 A e B, por exemplo), pode deixar um pouco a desejar, mesmo se tratando de imagens de alta resolução como as utilizadas neste Projeto.

Tendo sido anteriormente iniciada pela extração das ‘linhas de água’, a rede hidráulica da área de estudo ficou completa com o fim da vetorização dos ‘rios área’.

3.5.3.2 Outros elementos areais

A vetorização dos elementos que serão a seguir descritos deve ser realizada quando eles apresentem área $\geq 15.625\text{m}^2$. De acordo com o Guia de Extração MGCP, esta é a única característica que os tornam semelhantes entre si.

Afloramentos significativos de rocha exposta podendo ocorrer isolados ou em agrupamentos, ao longo de morros, montanhas, cordilheiras ou mesmo da superfície plana do solo e variar em tamanho, forma e/ou largura, são as principais características apresentadas pelo referido Guia para ‘**áreas de formações rochosas**’ (*rock formation area*).

Podendo variar entre vários subtipos como *boulders*, *gravel*, *lava*, *rock* e, entre outros, *salt*, uma ‘**região de solo superficial ou exposto**’ (*soil surface region*) é definida genericamente pelo documento de referência como sendo uma área de terra que se apresenta de forma homogênea no que diz respeito a determinada característica de solos.

Quanto às superfícies cobertas por certas gramíneas, devem ser capturadas para a base de dados como ‘**área de pastagem**’ (*grassland*) ou como ‘**área de vegetação**’ (*ticket*). Fazendo-se uma

descrição um pouco mais específica, as zonas que se apresentam cobertas por vegetação rasteira com nenhum ou pouco tecido lenhoso cuja densidade seja $< 25\%$, deve ser classificada como ‘**área de pastagem**’. Já as que apresentam plantas lenhosas de baixo crescimento, raramente atingindo 3m de altura, devem ser capturadas como ‘**área de vegetação**’. Contudo, em relação a este último tipo de elementos, o operador ainda deve atentar para a densidade, ou seja, se esta variar entre 25 e 50% caracterizando vegetação espalhada, a extração deve ser feita como ‘**área de vegetação 25**’ (*ticket 25*), mas se variar entre 50 e 100% o que caracteriza vegetação densa, tal captura deve ser efetuada como ‘**área de vegetação 51**’ (*ticket 51*).

‘**Áreas arbóreas**’ à semelhança das ‘áreas de solo exposto’ também apresentam vários subtipos de acordo com a classificação apresentada pelo referido guia. Contudo, de modo geral, estas se caracterizam por possuir árvores cujas copas não estão cerradas e por incluir vegetação rasteira, muitas vezes. A densidade pode variar e a sua classificação para a base de dados deve ser feita do mesmo modo como o apresentado para as ‘áreas de vegetação’.

- Formações rochosas

Quanto a este tipo de aquisição, sendo a área de estudo característica de clima semi-árido pelo qual a vegetação, que seria um fator de proteção, naturalmente não se desenvolve muito e o solo, por sua vez, sujeita-se mais intensivamente a ações erosivas das chuvas e dos ventos, a exposição de áreas rochosas torna-se mais evidente. Somado a este contexto o fato de que esse tipo de elementos têm características bem peculiares, não se encontraram dificuldades de o identificar (figura 36 A) e vetorizar (figura 36 B).



Figura 37 A: Exposição de elementos rochosos

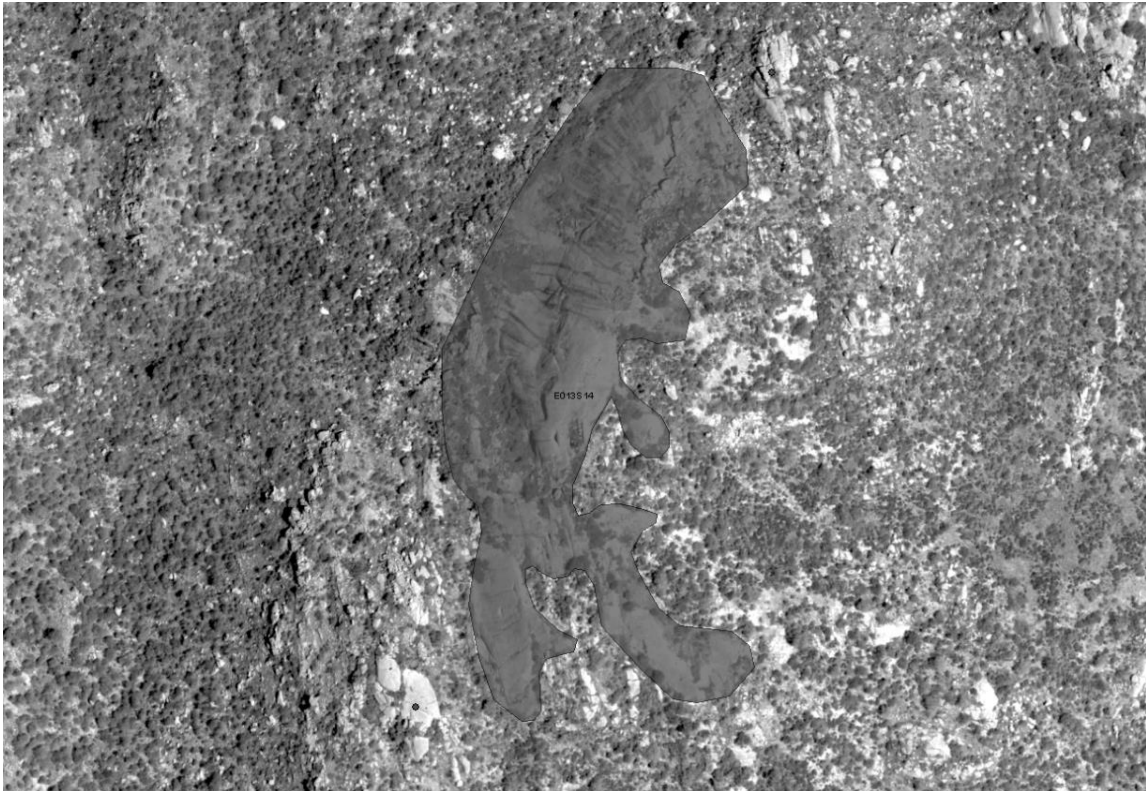


Figura 386 B: Elementos rochosos vetorizados

- ‘Região de solo superficial ou exposto’

A descrição exaustiva de cada um dos subtipos definidos pelo MGCP para caracterizar tais elementos tornar-se-ia exaustiva e não traria clareza em algumas questões que surgem durante as atividades de aquisição de geo-informações como as realizados diariamente pelos técnicos que trabalham no âmbito deste projeto. Uma destas questões diz respeito, por exemplo, à dúvida de como adquirir certas ‘áreas de solo superficial’ quando estas apresentarem alguma ‘vegetação espalhada’ (figura 37 A).

Além disso, por se tratar de uma imagem com ausência de cores, foi posta outra interrogação a qual questiona se áreas como a apresentada pela figura acima referida serão mesmo de ‘solo exposto’ com alguma ‘vegetação espalhada’ ou, em vez disso, se se tratam de ‘área de pastagem’ com alguma ‘vegetação espalhada’... Diante de tais questões, o ideal seria extrair cada elemento separadamente, tanto neste caso específico como em outros que surgiram. Contudo, considerando-se a alta resolução da imagem, assume-se que, numa escala de visualização de 1:1.000 as gramíneas seriam identificadas. Assim, considerando-se se tratar do primeiro caso descrito, uma vez que a parte em que se apresenta ‘vegetação espalhada’ não possui área suficiente para ser vetorizada como tal, foi feita uma generalização pela qual toda a área foi considerada como ‘solo exposto’, conforme pode ser visto na figura 37 B.

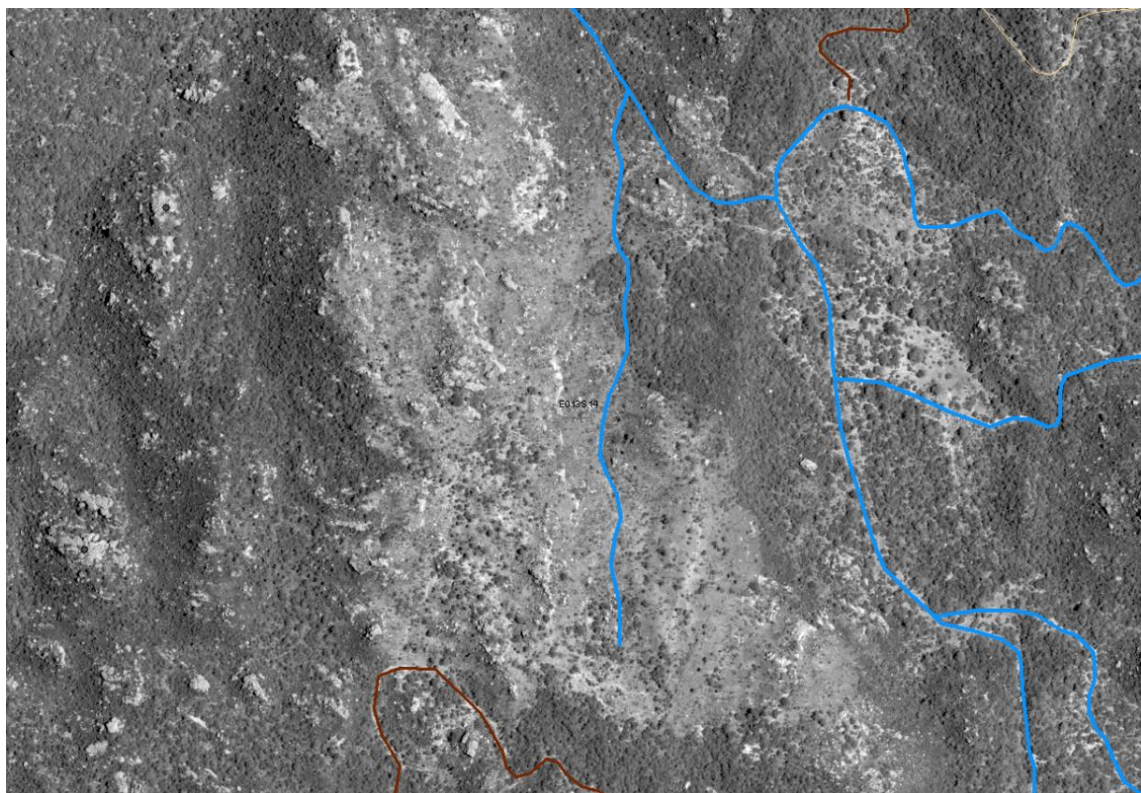


Figura 39 A: Ao centro, área com elementos mistos: de 'solo exposto' e de 'vegetação espalhada'

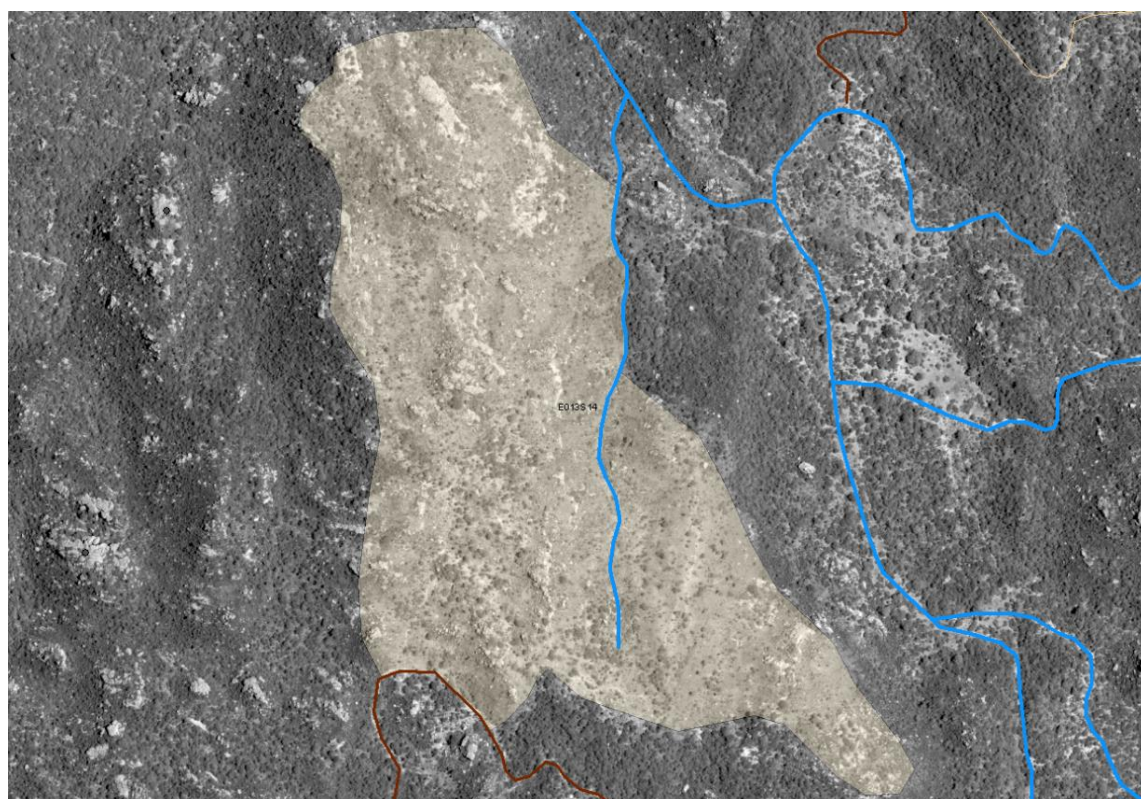


Figura 40 B: 'Solo exposto' (na cor bege claro), vetorizado

- ‘Área de vegetação’ e ‘área arbórea’

O Guia de Extração chama a atenção dos operadores para certa dificuldade em diferenciar entre ‘áreas arbóreas’ ou de árvores e ‘áreas de vegetação’ ou de arvoredos, uma vez que a densidade dessas variantes pode mudar de igual forma.

A identificação de ambas, no entanto, deve ser feita pela verificação da altura dos elementos, pelo que os do segundo tipo citado não devem ultrapassar os 3m. Assim sendo, acredita-se que a presença ou ausência de cor, assim como a resolução das imagens não influenciam em questões como esta, pelo que a experiência do técnico e a utilização de fontes auxiliares tornam-se cruciais, nomeadamente as que permitam a visualização e medição das sombras das árvores, por exemplo, uma vez que são sabidas as datas e as horas de aquisição das imagens.

Pondo-se tal dificuldade de lado, a partir de imagens pancromáticas é possível identificar certas características morfológicas do terreno as quais, por sua vez, facilitam a diferenciação entre certos elementos e permitem a explicação da sua presença numa zona que sofre a influência de um clima como o desta área de estudo. Como exemplo para esta afirmação, imagine-se um cenário como o apresentado pela figura 38 A onde foi possível identificar áreas mais baixas e planas entre outras mais altas. Em relação às primeiras citadas, sujeitas a um clima como o descrito e, além disso, entre vários fatores possíveis, estar mais sujeitas a ações humanas que procedem ao corte de árvores e de arvoredos como parte do preparo do solo para o plantio por exemplo, ou simplesmente por não serem alcançadas pelos ventos mais húmidos os quais se precipitam mais facilmente nas zonas mais altas e frias, as áreas mais baixas e planas, com algumas exceções, na sua maioria apresentam ‘vegetação 25’ ou esparsa (figura 38 B).

O contrário ocorre nas zonas mais altas e nas que, embora mais baixas, posicionam-se entre duas mais altas e próximas, caracterizando ‘corredores de vento’ onde este não encontra barreiras e, assim, consegue avançar com maior quantidade de água e precipitar em áreas como estas. Como ilustração apresenta-se a figura 38 B onde aparecem tais situações.

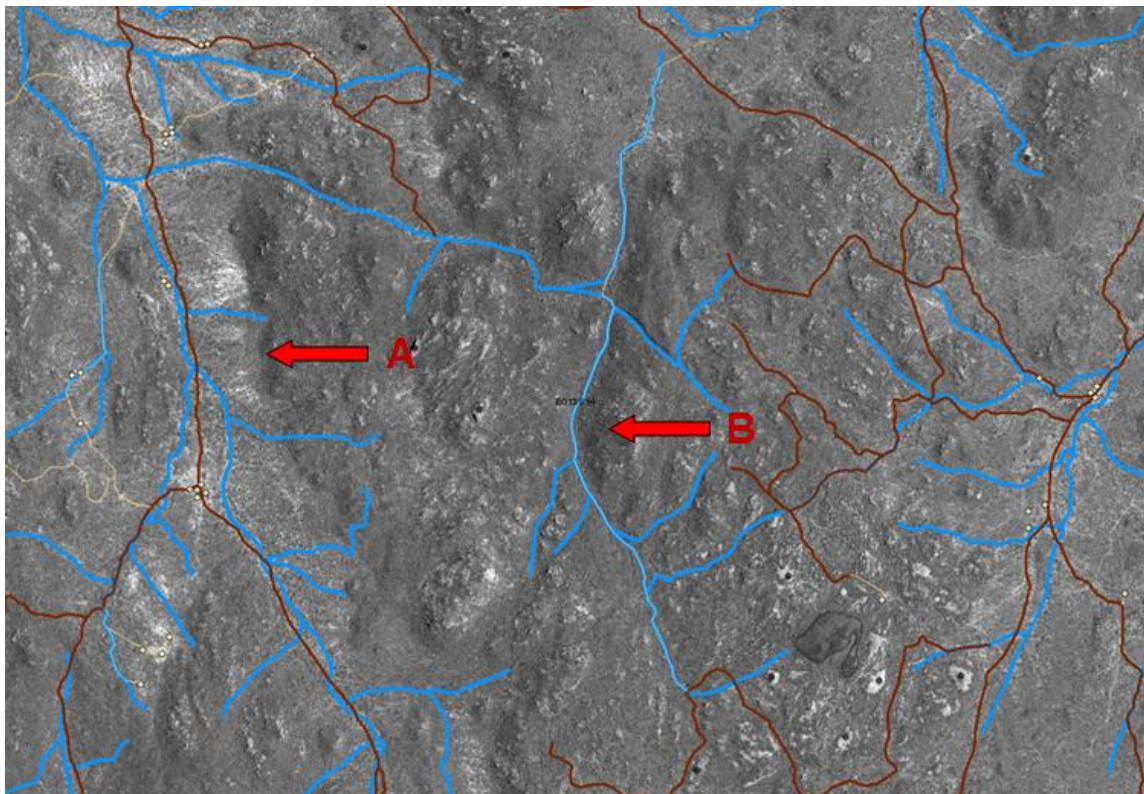


Figura 41: Em ‘A’: planície com ‘vegetação 25’. Em ‘B’: corredor de vento com ‘vegetação 51’

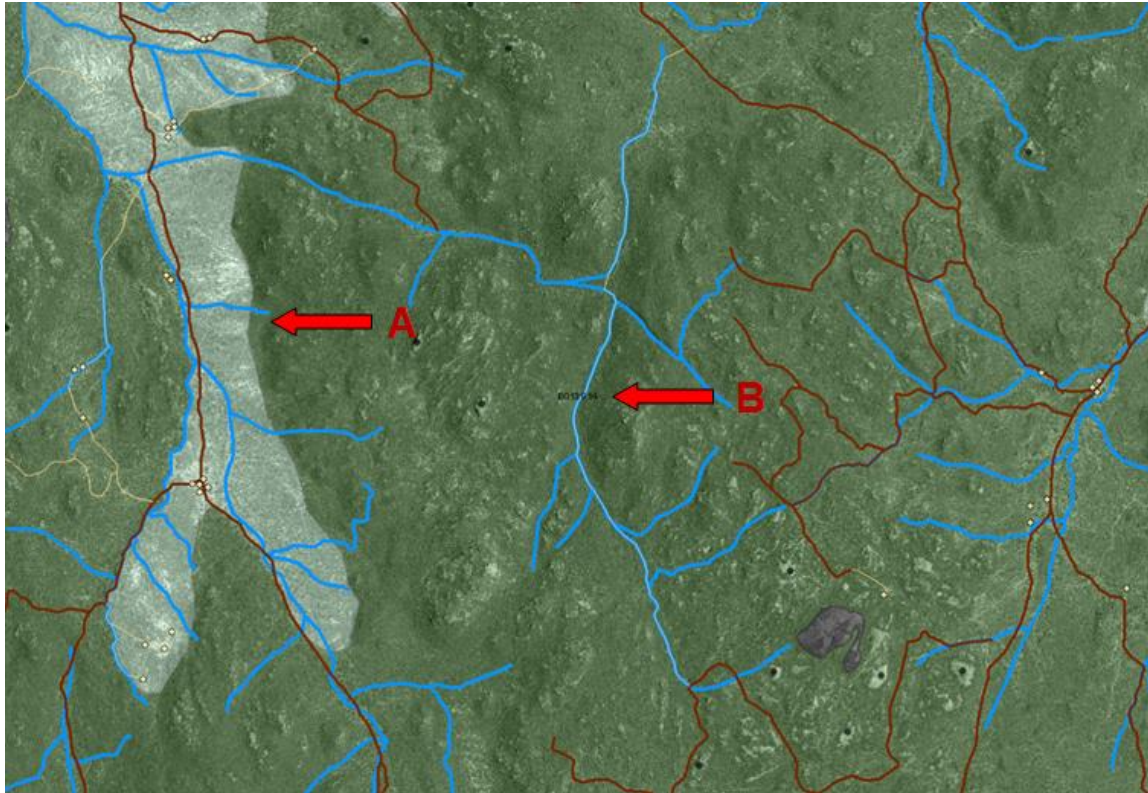


Figura 42: Em 'A': planície com 'vegetação 25'. Em 'B': corredor de vento com 'vegetação 51', vetorizados

3.6 Vetorização utilizando imagens multiespectrais

3.6.1 Elementos lineares

As normas MGCP constantes do TRD e do Catálogo de Objetos que foram genericamente descritas no tópico anterior também serviram como referência para a realização dos trabalhos de aquisição de geo-informações para a base de dados SIG pela utilização de imagens multiespectrais. Desta forma, neste tópico não se fará referência a tais normas, reservando-o apenas à descrição das facilidades e dificuldades encontradas, focando-se sobretudo nas descritas anteriormente a fim de se realizar uma melhor comparação dos obstáculos e êxitos atingidos durante a sua realização.

Conforme o diagrama representativo da metodologia aplicada, descrito no tópico referente ao *workflow* das atividades, à semelhança dos trabalhos realizados com as imagens pancromáticas, estes também foram iniciados pela extração de elementos lineares, mais especificamente pelas linhas de água, seguindo-se com a de meios de locomoção humanamente importantes. Assim, apesar das ortofotos multiespectrais apresentarem uma resolução espacial (1,85m) inferior à das pancromáticas, sentiu-se rapidamente uma maior facilidade em distinguir 'linhas de água' de certas 'estradas', principalmente quando as primeiras citadas linhas são usadas como meio de locomoção, facilidade esta que consistiu numa das principais dificuldades sentidas durante os trabalhos de aquisição pela utilização de imagens pancromáticas.



Figura 43 A: 'Linha de água' cruzando-se e coincidindo constantemente com um caminho do tipo 'carreteiro'

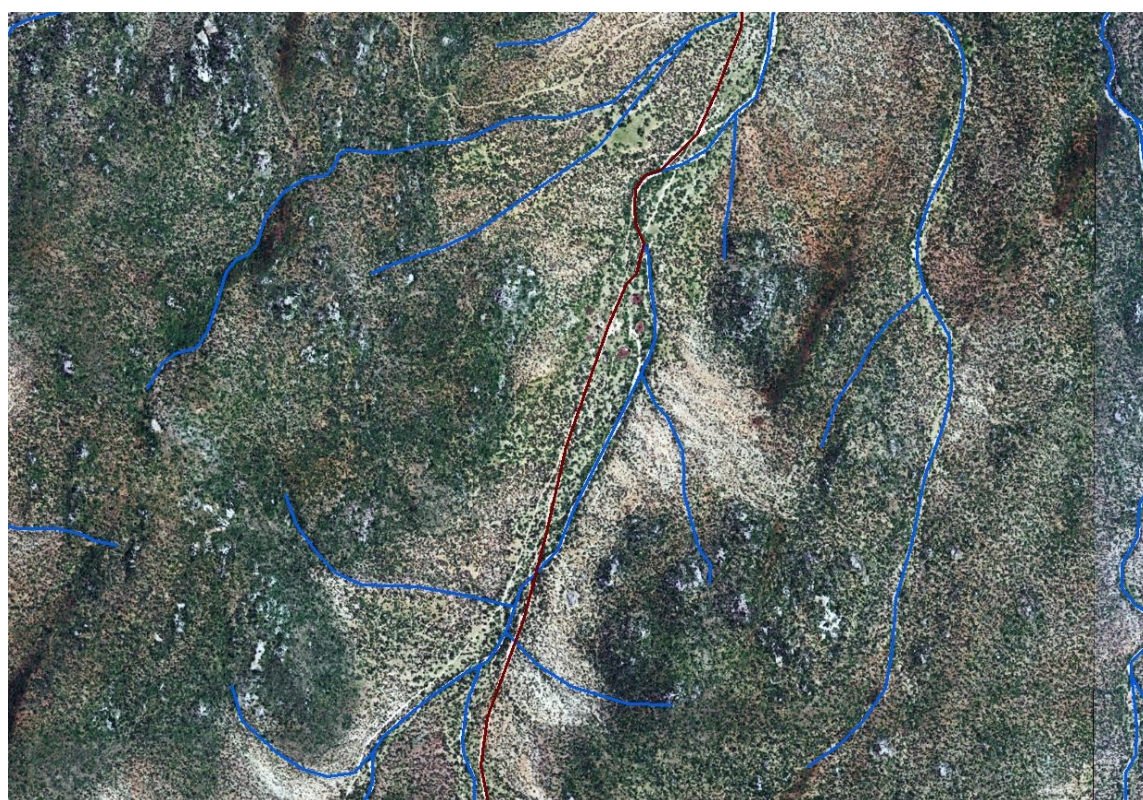


Figura 44B: Elementos da Figura 42 A, vetorizados: 'linhas de água' (azul) e caminho do tipo 'carreteiro' (castanho)

Em alguns casos, conforme melhor explicado no subitem anterior, tal fator deve-se à presença marcante de vegetação num verde de tom mais escuro às margens dos leitos dos rios, mesmo em alguns dos quais, secos, como pode-se ver nas figuras 39A e B. Em outros, notadamente em regiões mais agrestes, onde os leitos desses muitas vezes não apresentam vegetação nas suas margens (figura 40), encontrou-se alguma dificuldade em diferenciar os dois elementos em questão, principalmente quando os caminhos são do tipo ‘trilha humana’. Contudo, com a utilização das fontes de dados auxiliares, rapidamente tais dificuldades foram ultrapassadas.

O mosaico da área de estudo formado com imagens multiespectrais apresenta diferenças de cores nas áreas em que estas se sobrepõem (figura 40). Apesar de todas terem sido obtidas no mesmo horário, diferindo apenas poucos segundos, algumas foram adquiridas em dia diferente, em tempo superior ao de revisita (ver tabela 7) e, assim, podem ter estado sujeitas a diferenças de iluminação o que, por sua vez, pode ter alterado a intensidade da REM refletida do terreno que chegou até o sensor. Além disso, as correções radiométricas procedidas (de variações de dados não causadas pelos objetos que estão sendo escaneizados ou digitalizados, mas por inconsistências no *scanner* e interferência atmosférica, por exemplo), assim como correções do sensor (de variações de dados causadas por alterações na geometria do sensor, atitude e efemérides) e correções do terreno (de variações de dados devido a visualizações off-nadir) (DigitalGlobe, 2011) também podem ter alterado a homogeneidade das cores entre as diferentes imagens. O que quer, contudo, que tenha provocado tais alterações, é fato que essas diferenças dificultaram a visualização, a identificação e aquisição de certos objetos para a base de dados, principalmente os de menor tamanho e espessura como algumas ‘cabanas’ e ‘trilhas humanas’, por exemplo (figura 40).

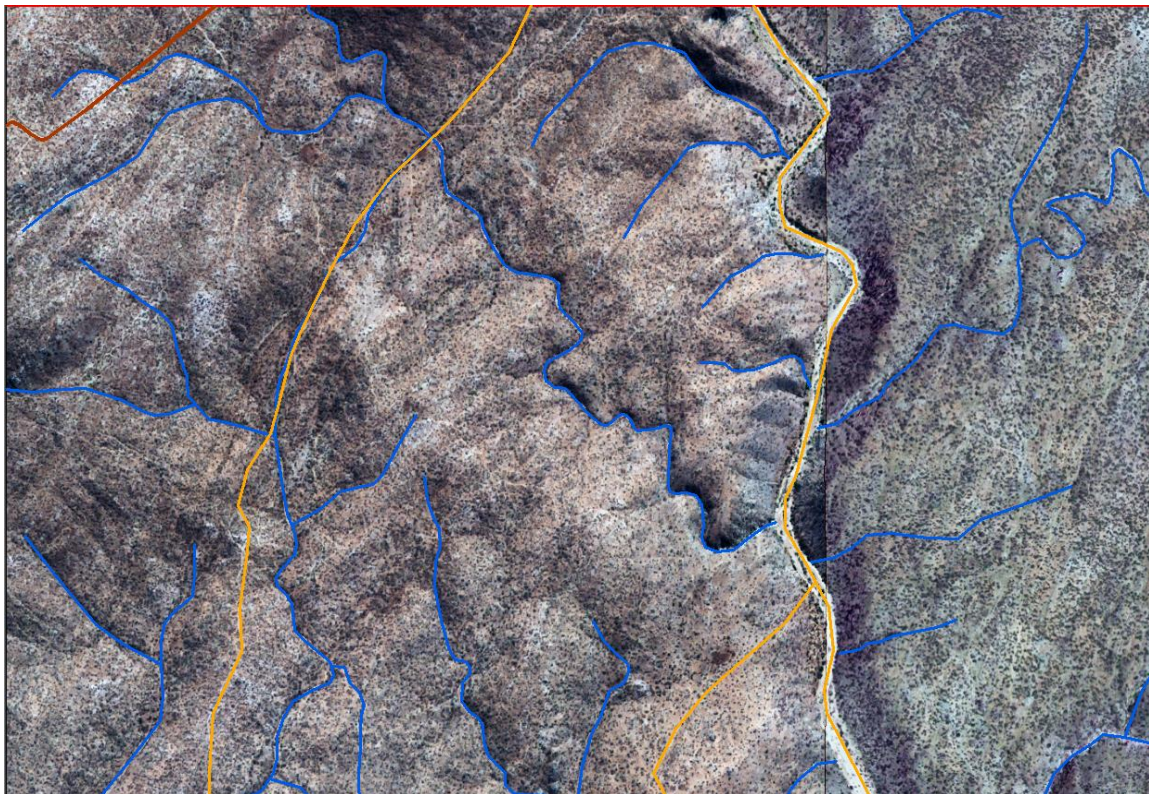


Figura 45: Rios secos em regiões mais agrestes da área de estudo (azul), cruzando-se ou coincidindo com caminhos do tipo ‘trilha humana’ (cor de abóbora). À esquerda, imagem ID 22; à direita: imagem ID 32

Uma outra questão que se julgou importante destacar foi quanto à não identificação de certos meios de locomoção, notadamente os do tipo ‘trilha humana’ (figura 41), quando comparados com alguns vetorizados pela utilização das imagens pancromáticas (figura 27). Situações como esta,

provocadas principalmente pela resolução espacial das imagens, podem levar à omissão de outros objetos como o de pontos habitacionais.

Quanto à vetorização de objetos cobertos por nuvens e suas sombras, ou imperceptíveis devido à resposta espectral do solo, ao ângulo de visada do sensor ou ainda por estarem encobertos por vegetação, pode-se dizer que esteve-se diante das mesmas dificuldades as quais foram ultrapassadas pela utilização das mesmas técnicas de análise e de fontes auxiliares aquando da realização dessas atividades com imagens pancromáticas, podendo-se enfatizar a importância daquelas para a concretização de trabalhos como este com a maior precisão e rigor possíveis.

Ao final das atividades de vetorização deste tipo de elementos, apesar das referidas dificuldades remetidas principalmente à resolução das imagens multiespectrais, notou-se terem sido identificados, de modo geral, mais elementos do que aqueles conseguidos pelo uso das pancromáticas. Uma pequena amostra de tal afirmação pode ser vista comparando-se as imagens 32 e 45.

3.6.2 *Elementos pontuais*

A esta altura passou-se a utilizar novamente a ‘grelha orientadora’ a fim de evitar a confusão e as perdas de tempo e de qualidade dos trabalhos descritas no subitem referente à extração de elementos pontuais com imagens pancromáticas.

Percorrendo-se as células da referida grelha à procura por elementos desse tipo, apesar das cores oferecidas pelas imagens multiespectrais, muitas dificuldades surgiram, algumas das quais provocadas pela sua resolução espacial. Como exemplo, pode ser citada a confusão feita ao se tentar diferenciar entre o formato de alguns ‘afloramentos rochosos’ e o de algumas ‘cabanas’ ou de alguns ‘barracos’, procurando-se resolvê-la pela análise do espaço envolvente, ou seja, verificando se este apresentava ou não outros elementos vitais à sobrevivência humana como ‘cursos de água’ e ‘caminhos’, por exemplo.

Em outros casos, tal como ocorrido com as imagens pancromáticas, surgiram dúvidas ao se tentar diferenciar entre esses mesmos elementos, provocadas pela resposta espectral de algumas rochas expostas com dimensão reduzida e cujos espaços circundantes não possuíam vegetação, o que pode indicar atividades e movimentação humana e de animais domésticos. Tais dificuldades acentuavam-se nos casos em que tais objetos apresentavam-se próximos aos elementos vitais exemplificados (figura 41).

A observação da área representada pela figura 41 logo remeteu a uma comparação com a referente à 27 pela qual verificou-se a não visualização da ‘cabana’ e de algumas ‘trilhas humanas’ identificadas e vetorizadas pela utilização das imagens pancromáticas, fato que vem comprovar a importância da melhor resolução espacial destas imagens para a visualização de certos objetos como os do exemplo e também da decisão de não aquisição de objetos duvidosos para a base de dados.

Apesar da presença do padrão representado pela utilização de cercas, anteriormente descrito, algumas ‘cabanas’ não puderam ser bem visualizadas e, por isso, mais uma vez optou-se pela não vetorização (figura 42). Na maioria dos outros casos, no entanto, ‘cabanas’ não cercadas próximas a ‘linhas de água’ e de ‘estradas’ foram melhor identificadas devido à presença de cores nas imagens, conforme pode-se verificar pela comparação das imagens 42 e 26.

Durante a busca por objetos pontuais às margens dos rios com o tipo de imagens em questão, sentiu-se uma dificuldade parecida quando tal trabalho foi efetuado com as pancromáticas, ou seja, em diferenciar entre ‘formações pontuais rochosas’, ‘solo’ e/ou certas ‘habitações’ (conforme o descrito no item 3.5.2) devido à semelhança das suas respostas espectrais em algumas ocasiões. A diferença observada (o que explica a dificuldade parecida) foi a identificação nessas zonas de mais elementos pontuais, principalmente pequenas habitações, do que pelas atividades com a utilização de pancromáticas, como pode-se comprovar pela comparação entre as figuras 28 e 43.

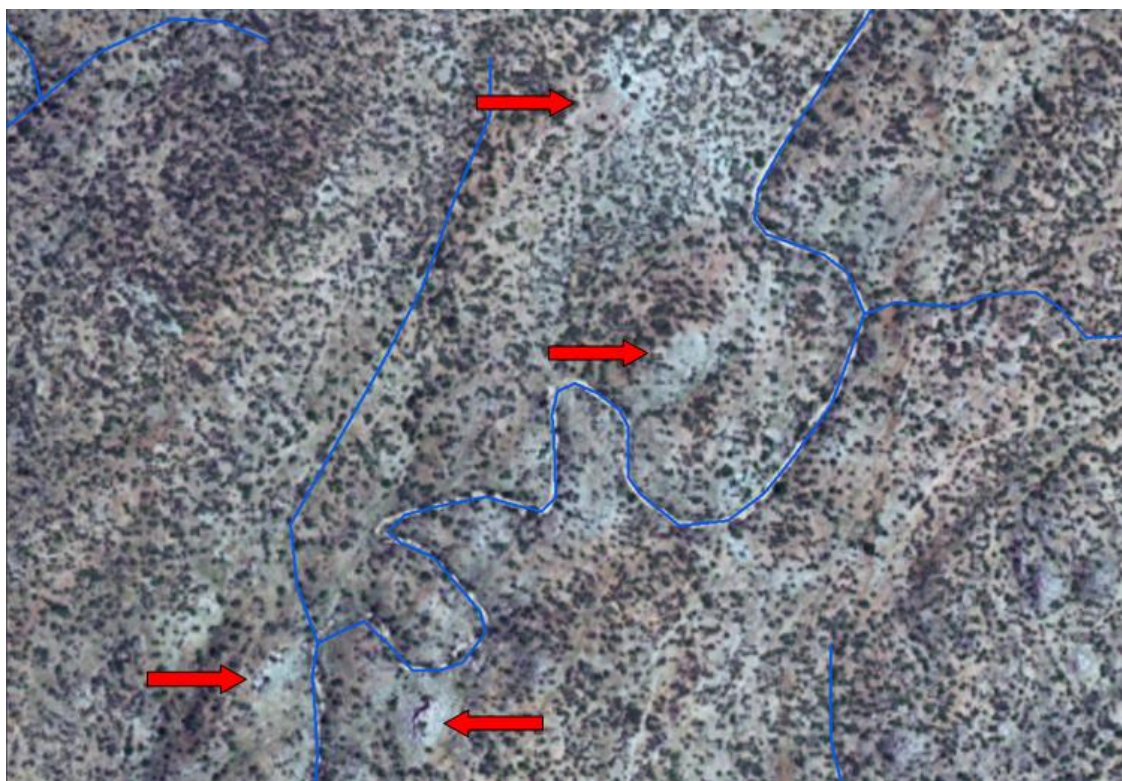


Figura 46: Pequenos afloramentos rochosos confundidos com elementos habitacionais, próximos a cursos de água

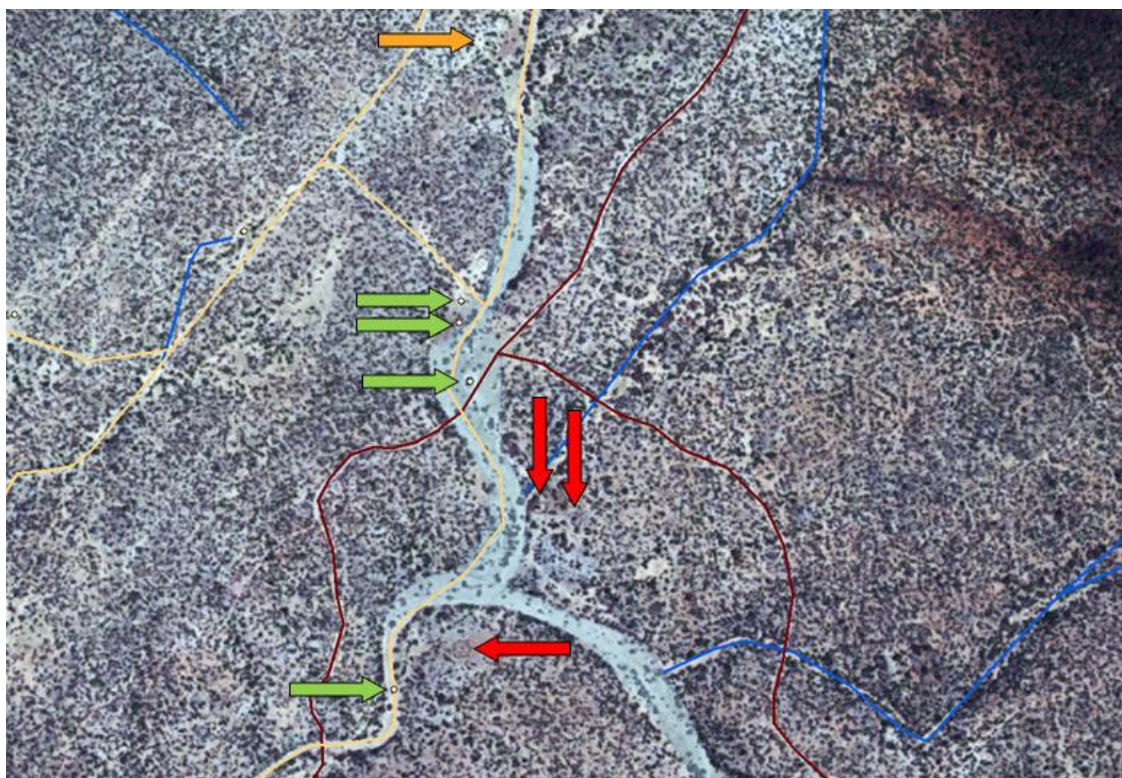


Figura 47: Prováveis 'cabanas cercadas', não vetorizadas (indicadas pelas setas vermelhas); 'cabanas não cercadas', vetorizadas (indicadas pelas setas verdes) e provável cabana não cercada, não vetorizada (indicada pela seta cor de abóbora)



Figura 48: ‘Cabanas’ ribeirinhas vetorizadas (pontos amarelos)

A maior dificuldade, no entanto, foi sentida aquando da tentativa feita para diferenciar entre ‘cabanas’ não cercadas e ‘arbustos’. Em casos como este não resultaram a aplicação da análise do terreno envolvente nem do “treino do olho” do operador para ultrapassar tal obstáculo, pelo que em todos eles tais objetos não foram vetorizados.

No que diz respeito à identificação de ‘barracos’, não se conseguiu sobretudo diferenciar estes de habitações do tipo ‘cabanas’, tendo sido tal tentativa prejudicada mais uma vez pela resolução das imagens multiespectrais, apesar das suas cores. Contudo, mesmo diante de tal malefício, de modo geral conseguiu-se diferenciar bem entre esses elementos e habitações do tipo ‘construções’ (figura 44), remetendo-se tal fato mais uma vez à diferença de tamanho e, em oposição aos trabalhos realizados pela utilização das imagens pancromáticas, às cores apresentadas pelos objetos, notando-se, assim, certa diferença das suas respostas espectrais. Mas, embora tenha-se notado este benefício apresentado pelo maior tamanho dos objetos em causa quando comparado com o dos outros elementos e pelas cores, a vetorização de algumas ‘**construções**’ deixou de ser realizada, pois as diferenças de cores entre as imagens (principalmente nas zonas de sobreposição) devidas provavelmente às correções anteriormente citadas não auxiliaram na diferenciação entre os elementos.

Terminadas as atividades de aquisição de geo-informações pontuais, foi retirada da área de estudo a ‘grelha orientadora’ a fim de dar prosseguimento às mesmas, pela extração de elementos areais.



Figura 49: ‘Construções’ (pontos vermelhos), ‘cabanas’ (pontos amarelos), ‘caminhos carreteiros’ (linha castanha) e ‘linha de água’ (azul), vetorizados

3.6.3 Elementos areais

3.6.3.1 Rios área e zonas de cultivo

Seguindo-se a mesma sequência que a realizada durante os trabalhos de aquisição de geo-informações com imagens pancromáticas, esta parte das atividades foi iniciada pela extração de rios do tipo área, ou seja, os que possuem espaço $\geq 25\text{m}$ entre suas margens e comprimento $\geq 300\text{m}$ e cujas demais características estejam de acordo com as regras genericamente explicitadas anteriormente.

Nomeadamente em rios de drenagem seca cujas margens não são bem marcadas pela presença de vegetação, mas antes espalham-se pelo seus leitos e dificultam sua identificação e vetorização pelo uso de imagens pancromáticas (exercício não facilitado pelas fontes de dados auxiliares), com o das multiespectrais, ao contrário, a presença de cores facilitou a boa visualização, identificação e extração de tais elementos para a base de dados como areais. A figura 45 foi apresentada a fim de que o leitor possa fazer uma comparação visual com a 32, ambas adquiridas na mesma escala de visualização, através das quais pode-se ver o mesmo ‘rio área’. Na última imagem citada pode-se ver uma ‘linha de água’ que foi interrompida pelo operador para dar início à vetorização de um ‘rio área’. Já na imagem abaixo apresentada, a porção do rio que foi extraída como ‘linha’ na figura 32, com a utilização das imagens multiespectrais os limites das suas margens foram bem visualizados, tendo sido possível decidir pela sua classificação como ‘areal’, apesar da ‘invasão’ de arbustos ao longo de todo o seu leito.



Figura 50: Margens de 'rio área' (azul claro) melhor identificadas

A variação de cores e tons apresentados por alguns leitos de rios, como uma mistura de tons cinzentos, dos mais claros aos mais escuros, indicando respectivamente menor e maior presença de água, foi melhor identificada e, conseqüentemente, possibilitou uma mais segura classificação de rios com características como as descritas, ou seja, os intermitentes. Referindo-se mais especificamente aos rios areais da área de estudo, alguns, como o das figuras 35 A e B, pelo uso das imagens pancromáticas foram extraídos para a base de dados como sendo do tipo perene. No entanto, sua visualização através das imagens multiespectrais veio constatar que se tratavam, na verdade, de intermitentes, conforme pode-se verificar pela visualização da figura 46. Assim, observações como esta permitiram comprovar as afirmações feitas no subitem dedicado às descrições das atividades de extração desses elementos pelas imagens pancromáticas ao se concluir que, para elementos como os que estão em questão, o operador que siga indicações como as constantes do Guia de Extração MGCP e tenha conhecimento das condições climáticas da área de estudo como mais-valia, mas principalmente que possa contar com as cores das imagens com resolução semelhante à destas, consegue mais fácil e acertadamente identificar e classificar rios perenes e intermitentes, aproximando-se mais de atingir os rigores de identificação e de extração como os exigidos pelo MGCP.

Em períodos de preparo para o plantio quando o solo não apresenta indícios deste, em imagens pancromáticas zonas destinadas a tais atividades podem passar despercebidas, conforme visto anteriormente. Após análise da área representativa das figuras 35 A e B pelo uso das imagens multiespectrais, foi possível confirmar que toda ela se tratava de zonas destinadas ao cultivo, apresentando-se numa parte cultivada e, noutra parte, em fase de preparação para estas atividades, conforme pode-se comprovar pela visualização da figura 47 A. A comparação das imagens 35 B e 47 B mostra o aumento significativo da vetorização do tipo de área em questão, tão importante para análises espaciais destinadas a planejamentos e tomadas de decisão várias.

Uma vez completa a rede hidráulica da área de estudo com a utilização das imagens multiespectrais, deu-se prosseguimento às atividades pela aquisição simultânea de outros elementos areais.



Figura 51: Trecho intermitente do Rio Coporolo



Figura 52 A: 'Áreas de cultivo' e em preparação para o plantio, desenvolvidas às margens de rios área



Figura 53B: Áreas de cultivo e em preparação para o plantio (verde oliva), desenvolvidas às margens de rios área intermitente (azul claro), vetorizados

3.6.3.2 Outros elementos areais

- Formações rochosas

Quanto aos elementos do tipo formações rochosas, como se viu, dificuldades em identificar tais objetos, obstáculo que poderia ter ocorrido devido à falta de cor dessas imagens, não ocorreu o que poderia se explicar devido à alta resolução das imagens. Assim, ao serem realizadas tais atividades utilizando as imagens multiespectrais, seria de se esperar que tais dificuldades fossem sentidas por se tratar de imagens com resoluções inferiores às anteriormente citadas. Contudo, como também não ocorreram, tal causa poderia se explicar devido à presença de cores - fator importante para a identificação e diferenciação de muitos objetos, conforme tem-se visto até aqui. Entretanto, em ambos os casos a ausência desse obstáculo não se explica nem pela presença de cores oferecida pelas imagens multiespectrais e nem pela mais alta resolução espacial das pancromáticas, antes o tamanho dos objetos descritos é o centro da questão. Pois apesar de não oferecer cores e de possuir resolução espacial superior à das multiespectrais, esta diferença é mínima e só interfere quando os objetos a serem vetorizados apresentam dimensões reduzidas, como é o caso de alguns 'barracos' e 'cabanas', conforme explicações anteriormente apresentadas.

Essas observações vêm ao encontro das feitas no tópico referente à descrição das atividades de vetorização de tais elementos pelo uso das imagens pancromáticas, quando se diz que não se encontraram dificuldades de os identificar devido às suas características bem peculiares, as quais, além das formas e respostas espectrais (em geral bem distinta da dos objetos da área de estudo que os rodeiam), aqui também podem ser incluídos principalmente os grandes tamanhos.



Figura 54 A: Exposições rochosas areais vetorizadas a partir da utilização de imagens multiespectrais



Figura 55B: Exposições rochosas areais vetorizadas a partir da utilização de imagens multiespectrais

As figuras 48 A e B, adquiridas na escala 1:8.000, apresentam formações rochosas do tipo área em ambientes mais e menos rochosos, este último próximo a um rio área intermitente. Na primeira figura as formações rochosas, da esquerda para a direita, possuem áreas de $64.110,81\text{m}^2$ e de $18.205,035\text{m}^2$. Na segunda, possuem $26.332,192\text{m}^2$, $119.825,156\text{m}^2$ e $318.786,366\text{m}^2$. Em ambos os casos, como se pode ver, o ambiente circundante com cores e respostas espectrais diferentes facilita a identificação de seus limites.

- ‘Solo exposto’, ‘áreas de pastagem’, ‘áreas de vegetação’ e ‘áreas arbóreas’

Durante as vetorizações com as imagens pancromáticas uma dificuldade enfrentada foi diferenciar entre ‘solo exposto’ e ‘área de pastagem’ (*grassland*), a qual foi remetida à falta de cor das imagens. Em parte, tal afirmação veio ser confirmada após a visualização e a vetorização da área relativa às figuras 37 A e B pelo uso das imagens multiespectrais, conforme pode ser visto nas imagens abaixo apresentadas (figuras 49 A e B).

O ‘em parte’ explica-se da seguinte forma: por um lado a presença de cor verde-claro da figura 49 A que evidencia presença de pasto provavelmente formado por gramíneas, indica se tratar de uma ‘área de pastagem’. Por outro lado, ao contrário do que se acreditava, as gramíneas não podem ser visualizadas pelos operadores através de imagens com resoluções como as utilizadas neste projeto.

Assim, da comparação entre as imagens acima referidas, a parte representada por um polígono na cor bege-claro na figura 37 B, pela utilização das imagens pancromáticas foi adquirida para a base de dados como ‘solo exposto’, mas pelo uso das multiespectrais (figura 49 B), uma parte foi extraída como ‘área de pasto’ (polígono bege-claro) uma vez que esta foi identificada pela presença da cor verde-claro. Outra parte, que contém arbustos mais esparsos, foi adquirida como ‘área de vegetação 25’ (polígonos verde-claros) e outra ainda, que contém arbustos mais densos (polígonos verde-escuros), como ‘área de vegetação 51’. Em outros casos deparou-se com esta mesma situação, pelo que tais áreas, ao contrário do realizado aquando do uso das imagens pancromáticas, não foram vetorizadas como ‘solo exposto’, mas sim como de ‘pastagem 25’, o que explica a menor quantidade de elementos do primeiro tipo citado adquirida pelo uso de imagens multiespectrais do que o número obtido pela utilização de pancromáticas.

No prosseguimento destes trabalhos foi observado um outro fator que facilitou a identificação e sequente vetorização dos elementos em questão: a presença de habitações e meios de locomoção humanos, os quais tornam tais áreas mais suscetíveis às suas ações como a eliminação de vegetação (figura 50).

Considerando-se, assim, as atividades descritas, pode-se dizer de modo geral que não se encontraram dificuldades na identificação de elementos do tipo ‘solo exposto’ pelas imagens multiespectrais, uma vez que a cor oferecida por estas e a presença de objetos de precedência humana apresentaram-se como facilitadores nestas atividades.

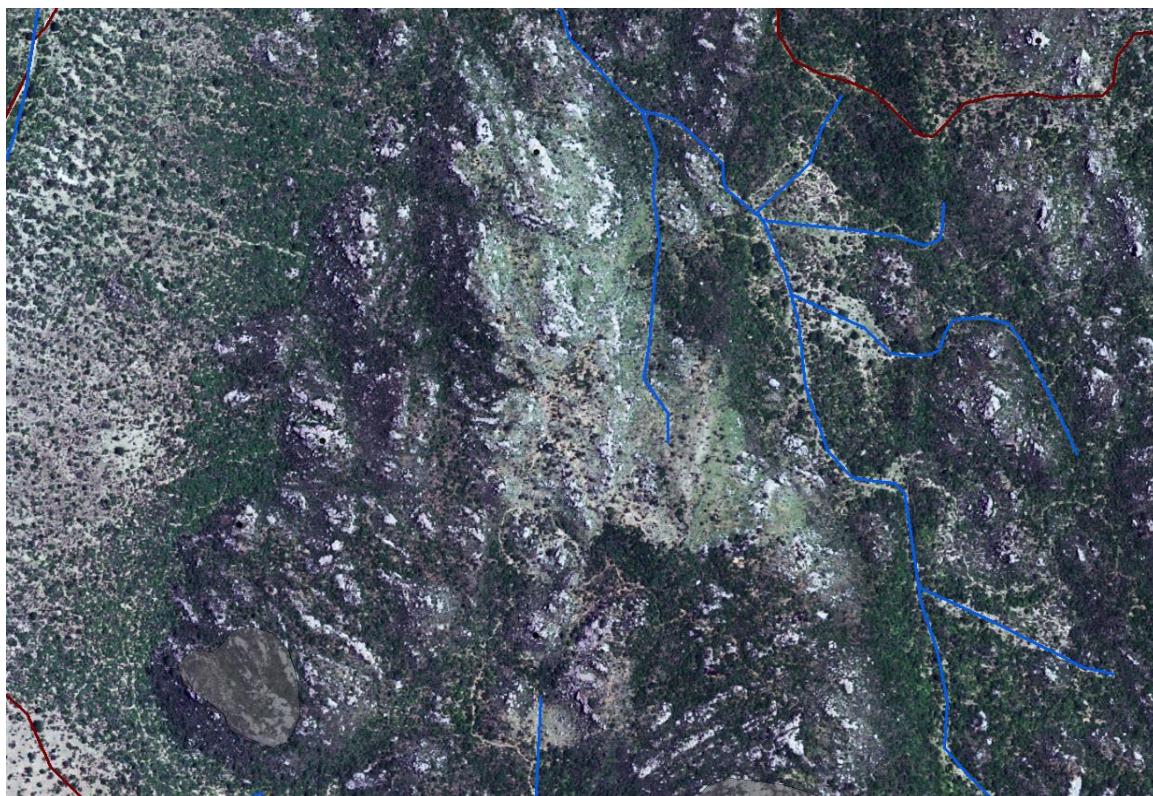


Figura 56 A: Área relativa à figura 40 A ($13^{\circ}27'24,463''\text{E}$ $13^{\circ}2'29,473''\text{S}$), vista a partir de imagens multiespectrais



Figura 57: Figura 53 A vetorizada: 'área de pastagem' (*grassland*) ao centro (bege-claro); 'área de vegetação 25' (verde-claro); 'área de vegetação 51' (verde escuro) e formações rochosas (pontos e áreas cinza-escuros)

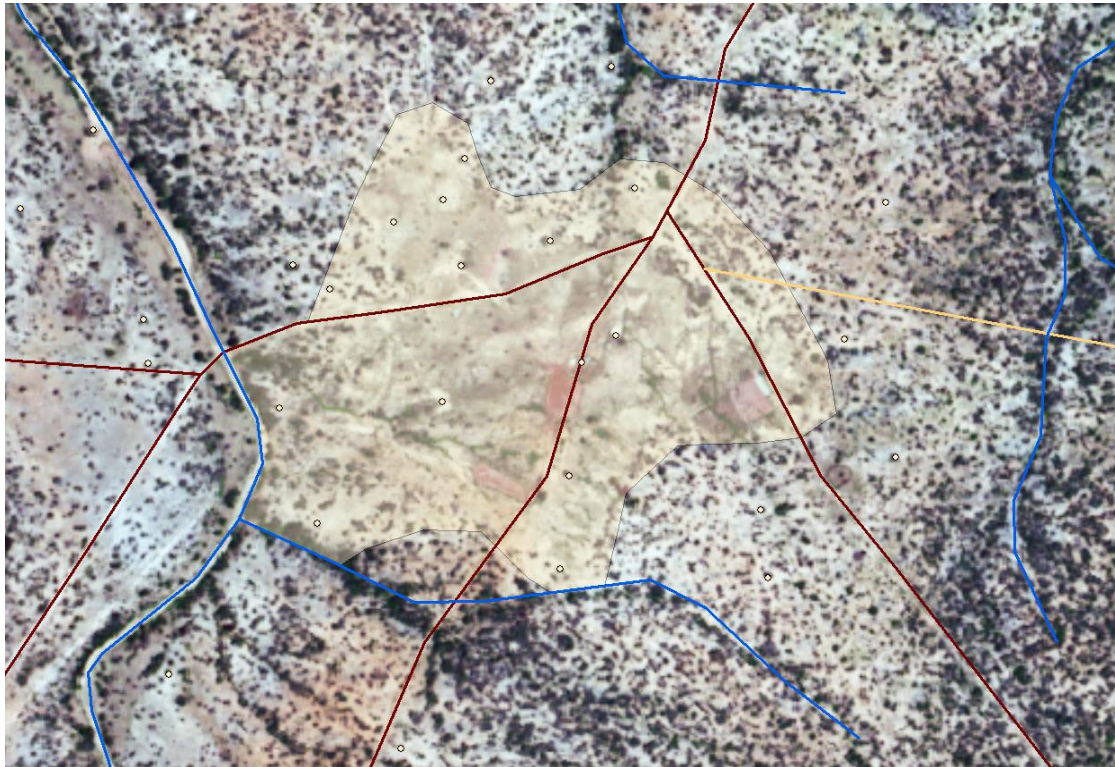


Figura 58: Área mais suscetível às ações humanas ($13^{\circ}21'11,026''\text{E}$ $13^{\circ}0'28,135''\text{S}$), vetorizada como 'solo exposto'

Conforme se especulou na parte referente à descrição das atividades de extração de 'áreas de vegetação' e de 'áreas arbóreas', a presença ou ausência de cor, assim como a resolução das imagens não influenciaram na diferenciação entre os elementos do tipo 'área de vegetação' e 'área arbórea', pois esta é feita pela diferença de altura a qual poderia ser percebida pela utilização de aplicações que permitissem a visualização em 'três dimensões' (3D – altura, largura e profundidade), por exemplo. Uma vez, contudo, que as atividades no âmbito do MGCP ainda são desenvolvidas pela visualização de elementos em 'duas dimensões' (2D – altura e largura), a experiência do técnico e a utilização de fontes auxiliares, conforme já dito, tornam-se cruciais.

Contrariando a pouca importância dada às cores para a diferenciação entre 'áreas de vegetação' e 'arbóreas', elas facilitaram muito a identificação de zonas de 'corredores de vento' e, conseqüentemente, de áreas do tipo 'vegetação 51' em regiões mais baixas, pois em áreas com as características da de estudo, tais características são mais comumente identificadas em regiões mais altas.

Finalizadas as atividades de extração de geo-informações para a base de dados SIG pela utilização de imagens multiespectrais, julgou-se imprescindível mais uma observação. De modo geral, apesar das facilidades enfrentadas durante estas atividades quando comparadas com as realizadas pelo uso das imagens pancromáticas, outras dificuldades de natureza fisiológica (apesar de serem até certo nível consideradas comuns em trabalhos nos quais os operadores se sujeitam a passar muito tempo à frente do monitor de "um computador") foram sentidas, como dores nos olhos e de cabeça. Diante de tal circunstância, notou-se ser de suma importância adotar um esquema de pausas a ser realizado durante tais trabalhos, uma vez que a atenção para os quais deve ser despendida fica muito prejudicada pela menor resolução das ortofotos multiespectrais quando comparada com a das pancromáticas e devido à mudança de cores entre as imagens e nas zonas de sobreposição, anteriormente referida. Somando-se a repetição exaustiva das atividades a esse fator, o operador pode atingir um nível de exaustão tal que, em consequência, os trabalhos em questão também podem ser prejudicados em termos de qualidade e de maior tempo necessário para a sua finalização.

3.7 Validação

A validação deve ser feita imediatamente após serem acabadas as atividades de vetorização de cada subcélula, independentemente do tipo de imagens utilizado. Contudo, para serem atingidos os objetivos propostos para este projeto pela realização de comparações entre as aquisições com os dois tipos de imagens e a fim de ser verificada a veracidade evitando-se, desta forma, confirmar informações errôneas para a base de dados, estes trabalhos foram feitos ao final de todas as atividades de extração de geo-informações.

Os trabalhos de aquisição de dados por vetorização podem originar erros durante o processo. Tais erros podem ser de três tipos:

- **erros de forma ou de geometria** que, como o próprio nome sugere, alteram a forma dos objetos geográficos;
- **erros topológicos** produzem informação errada na base de dados sobre uma entidade geográfica e
- **erros de atributos** gerados pelo incorreto preenchimento da tabela de atributos das entidades geográficas.

Assim, conforme o realizado na área de estudos destinada às atividades deste trabalho, após o término da extração de dados de determinada área, tem-se o cuidado de ser aplicada a ferramenta *Data Reviewer* constante do *software* ArcGis v 10.1 que é utilizado na maior parte dos trabalhos do projeto. Esta ferramenta apresenta uma lista dos erros identificados e com detalhes sobre eles. O operador então procede à correção e valida os dados em termos de topologia, geometria e de atributos de acordo com o *schema*, ou seja, com o que foi especificado através do TRD e do Guia de Extração para a aquisição de elementos. Desta forma, se o campo da tabela de atributos destinado a identificar o nome da *feature* ou elemento estiver preenchido de modo diferente do definido pelas regras para constar da base de dados, esta ferramenta detecta o mau preenchimento e mostra ao operador, que deverá proceder às correções, por exemplo. A figura 51 representa uma ilustração para o exemplo dado. Ou seja, o campo *Description* da ferramenta *Data Reviewer* apresenta como deve ser preenchido o campo *Named Feature Identifier* (NFI) da tabela de atributos, onde o operador deve efetuar a correção.

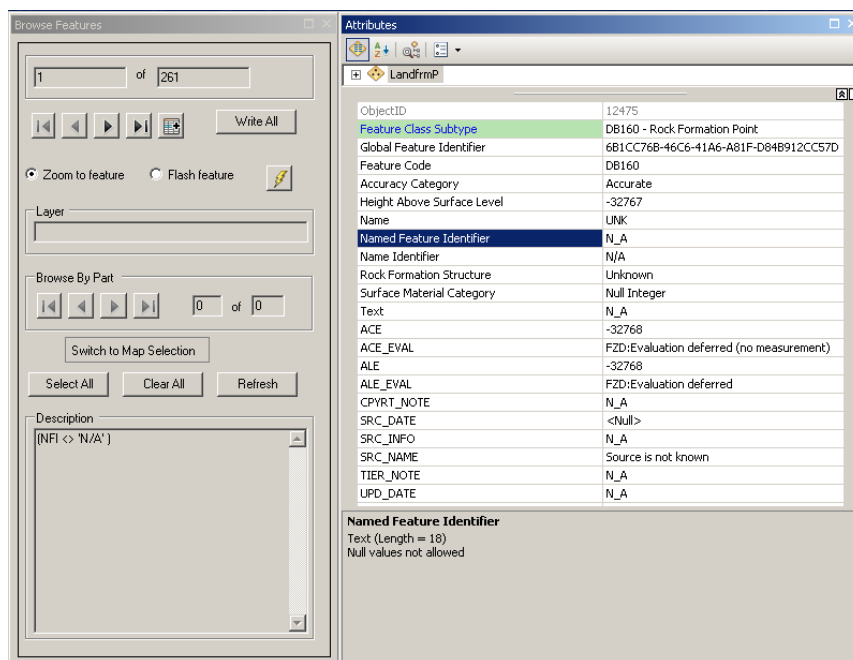


Figura 59: Exemplo de procedimento para correção do preenchimento da tabela de atributos, como parte integrante da fase de revalidação

Para finalizar, quando toda a célula já foi submetida à descrita validação, exporta-se toda a informação armazenada na Base de Dados Geográfica (**BDG**) para um ficheiro do tipo *ShapeFile* (**.shp**) e aplica-se-lhe o *software Geospatial Analysis Integrity Tool* (GAIT)²⁰ que vai proceder de modo semelhante à ferramenta *Data Reviewer*, mas de forma mais refinada. Se ainda forem identificados erros, tal *software* gera um ficheiro do tipo .shp para cada tipo de dados (pontual, linear e/ou areal) que contenha erros. De posse destes ficheiros, o operador vai efetuar as devidas correções diretamente na BDG e repetir todos os procedimentos descritos neste parágrafo até não serem mais identificados quaisquer erros pelo GAIT.

Depois de serem efetuados esses processos conhecidos como fase de validação, os dados são importados através de um portal *Web* para o *International Warehouse Geospatial* (**IGW**) que consiste numa espécie de depósito *geospacial internacional* onde as estruturas baseadas em arquivos de dados são armazenadas, gerenciadas e divulgadas para os países membros.

²⁰ A **ferramenta** GAIT, desenvolvida pelo *Institute for Defense Analyses* (IDA), uma organização independente patrocinada pelo governo dos EUA, é utilizada para validar a estrutura e o conteúdo de todos os dados adquiridos no âmbito do MGCP.

4. Análise comparativa

Considerando-se de suma importância o levantamento cartográfico para a base de dados foi feito um estudo para verificar se houve aumento da eficiência nas tarefas de aquisição de dados no âmbito do MGCP pela utilização de imagens pancromáticas e multiespectrais de alta resolução do satélite *WorldView-2* que substituíram em tais trabalhos as do *WorldView-1*, apenas pancromáticas, de “igual resolução”.

Para que tal comparação possa ser realizada, um dos procedimentos a ser adotado, dentre vários existentes, seria calcular o erro posicional possivelmente obtido após a vetorização de cada tipo de objetos pela utilização de cada tipo de imagens. Contudo, a falta de dados advindos de fontes consideradas fidedignas como mapas oficiais da região ou pontos fotogramétricos do terreno, por exemplo, impediu que tal pudesse ser realizado. Neste ponto abrir-se-á um parêntese para explicar que a Carta de Angola que foi rasterizada para ser usada como fonte auxiliar de dados no âmbito do MGCP, foi produzida em meados do século XX na altura da Guerra do Ultramar com fins de ser utilizada pelas tropas portuguesas para o reconhecimento da região. Considerando-se a limitação das tecnologias utilizadas para a produção cartográfica da época em comparação com as disponíveis para estes fins nos dias de hoje e a rapidez com que foi feita em vistas da urgência de sua utilização, tal Carta não pode ser considerada de forma alguma como fonte de dados fidedigna ou fonte de referência para este efeito. Além disso, o contexto sócio-político vivido atualmente pelo país em questão ainda não permitiu que equipas de técnicos cooperadores do MGCP pudessem realizar trabalhos em campo para a recolha de dados como pontos fotogramétricos, por exemplo.

Assim, para fins de comparação foi contado o tempo despendido durante os trabalhos de vetorização dos elementos presentes na área de estudo anteriormente descrita, à data de aquisição das imagens do satélite em questão (item 3.3). Para tal efeito também foi contado o total de cada tipo de objeto adquirido dessa área pela utilização das imagens pancromáticas e multiespectrais. Durante esta coleta procurou-se extrair o máximo número de elementos possível considerando a densidade de objetos a constarem da base de dados para serem utilizados na escala 1:50.000 e sempre respeitando as regras de vetorização constantes do Catálogo de Objetos e do Guia de Extração MGCP. Desta forma, depois de terminados os trabalhos de aquisição descritos no capítulo 3 e computados o total do tempo e dos objetos citados, foram obtidos os resultados que podem ser vistos na tabela 8.

Tabela 8: Total de objetos coletados da área de estudo por tipo, pela utilização de imagens pancromática e multiespectral e tempo despendido nas atividades de extração de cada tipo de objetos

Objetos	Pancromática	Tempo	Multiespectral	Tempo
Linhas de água (Water line)	1.259	65h30min	1.409	49h05min
Estradas (Road line)	2	22h22min	2	14h59min
Caminho careteiro (Car Track)	183		57	
Trilha humana (Trail line)	150		104	
Formações pontuais rochosas (LandfrmP – Rock formation Point)	261	21h31min	344	20h46

Cabanas (MiscpopP – Hut point)	662		919	
Barracos (MiscpopP – Settlement Point)	13		13	
Construções pontuais (Building point)	29		15	
Pontos arbóreos (TreesP)	2		3	
Rios areaais (Water area)	23		29	
Área de Cultivo (Crop Land Area)	8		26	
Formações rochosas areaais (Landfrm2A –Rock formation area)	90		123	
Área de solo exposto (GroundA - Soil Surface Region Area)	4	13h09min	1	12h03min
Área de pasto/pradaria (Grassland área)	0		2	
Área de vegetação esparsa, 25 (GrassA - Thicket Area, 25)	50		34	
Área de vegetação densa, 51 (GrassA - Thicket Area, 51)	15		22	

De posse desses dados, uma rápida análise visual da tabela permite-nos concluir genericamente para quais objetos é melhor a utilização de imagens pancromáticas ou multiespectrais para a sua identificação e extração. Contudo, a fim de se obter matematicamente/estatisticamente a melhor eficiência atingida, em termos de quantidade de objetos adquiridos e de tempo despendido nos trabalhos de vetorização, foram feitos dois cálculos. O primeiro foi aplicado com o objetivo de igualar a unidade de tempo para que se possa efetivamente realizar comparação. Já o segundo, para se obter a percentagem de quão melhor foi a eficiência atingida em cada um dos casos.

Assim, tome-se como exemplo os dados referentes às '**linhas de água**'. Para igualar a unidade de tempo foi aplicada aos valores uma '**regra de três simples**'.

Feitos os cálculos, obtém-se como resultado **1.880,261 'linhas de água'** que podem ser extraídas pelo uso das imagens multiespectrais **em 65,5h**. A diferença entre esse resultado e a quantidade de '**linhas de água**' obtidas pelo uso de imagens pancromáticas representa a quantidade desses objetos feitos a mais pelo uso das multiespectrais, ou seja, 621,261.

Agora para saber qual o percentual que esse diferença representa em relação à quantidade de objetos adquiridos pelo uso das imagens pancromáticas (1.259), no mesmop tempo (65,5h), substitui-nas na '**Fórmula de Porcentagem**'.

Para este exemplo, **≈ 49,35%** é o valor que representa a eficiência atingida pelo uso das imagens multiespectrais em relação ao das pancromáticas. Em outras palavras, quando se utilizam imagens multiespectrais, atinge-se 49,35% a mais de eficiência do que a atingida quando são utilizadas as pancromáticas para a vetorização de objetos do tipo '**linhas de água**'.

Desta forma, depois de realizados estes simples cálculos para todos os objetos constantes da tabela 8, agrupados nas categorias ‘linear’, ‘pontual’ e ‘areal’, sempre considerando como eficiência o menor tempo necessário para sua aquisição, foram obtidos os resultados que podem ser conferidos na tabela 9, abaixo.

Tabela 9: Total de objetos coligidos da área de estudo por grupo, pela utilização de imagens pancromática e multiespectral, tempo despendido nas atividades de extração de cada grupo de objetos e eficiência alcançada pelo uso das imagens multiespectrais em relação ao das pancromáticas

Tipo de objetos	Pancromática	Tempo (h)	Multiespectral	Tempo (h)	Eficiência %
Lineares	1.594	87,86667	1.572	64,06667	35,2559
Pontuais	967	21,516667	1.294	20,766667	38,64881
Areais	190	13,15	237	12,05	36,12363

Dos valores revelados na última coluna da tabela apresentada acima foi possível verificar que a utilização das imagens multiespectrais resulta em média numa eficiência cerca de 36,7% superior em relação à das pancromáticas.

Esses resultados, contudo, refletem de forma mais abrangente as questões descritas no capítulo anterior, relativas às dificuldades e facilidades enfrentadas durante a vetorização dos objetos da área de estudo. Por esse motivo, chama-se aqui a atenção do leitor para a importância que representa o não descarte de uma leitura mais cuidada do citado item, uma vez que nem para todos os objetos citados (‘caminho careteiro’, por exemplo) o uso das imagens multiespectrais revela-se como o mais promissor em atividades como as que estão em questão.

5. Conclusões, discussão e trabalhos futuros

Com fins de acompanhar as constantes e rápidas mudanças atravessadas pelas sociedades da atualidade, conhecer o desenvolvimento da tecnologia para o aplicar em trabalhos diversos, principalmente os que envolvem aquisição de informações geoespaciais para base de dados, é de suma importância para os que estão envolvidos em tais. Assim, o conhecimento, mesmo que genérico, dos princípios de DR, dos tipos de satélites artificiais existentes, suas principais características e das imagens captadas por eles são essenciais para técnicos e principalmente para os gestores de projetos e de atividades como as voltadas para a produção cartográfica, por exemplo.

Além disso, em projetos como o MGCP, tomar conhecimento de outras questões torna-se igualmente importante como o da eficiência atingida no desenvolvimento de seus trabalhos. Para isto foram vetorizados os objetos da área de estudo definida pelas retas que passam pelas coordenadas 13°14'59,979"E - 12°59'59,945"S, 13°30'0,126"E - 12°59'59,894"S, 13°15'4,459"E - 13°14'56,846"S e 13°29'58,755"E - 13°15'1,985"S, com a utilização de imagens pancromáticas numa primeira etapa e com a de multiespectrais, na etapa seguinte, com o objetivo de, ao final, fazer-se uma comparação em termos de quantidade de objetos extraídos para a base de dados e de tempo despendido nessas atividades, para cada tipo de elementos.

Assim, ao longo do capítulo 3, como se viu, foram descritas as atividades de vetorização voltadas para a produção cartográfica utilizando-se imagens pancromáticas de 48cm e multiespectrais de 1,85m de resolução espacial. Apesar dessas imagens serem provenientes do satélite *WorldView-2*, as primeiras imagens citadas são captadas com resolução quase igual à do *WorldView-1* (50cm) e, uma vez que estas máquinas possuem características semelhantes, a pouca diferença entre as citadas resoluções e a origem das imagens não prejudicaram as comparações propostas. O fato de terem sido adquiridas quase todas no mesmo dia, no mesmo instante e pelo mesmo equipamento, pelo contrário, torna os resultados mais significativos.

Da descrição dessas atividades pôde-se constatar que houve mais dificuldades em vetorizar 'linhas de água' pelo uso das imagens pancromáticas do que pelo das multiespectrais, dando destaque para as sentidas ao se tentar diferenciar entre leitos de rios secos e estradas (principalmente as do tipo 'pé-posto'), pois não há cor para diferenciar a vegetação mais escura das margens dos rios de outras vegetações. Apesar desta dificuldade também ter sido sentida pelo uso das multiespectrais, só o foi em áreas mais agrestes, uma vez que há falta de vegetação dessas margens, tão comuns em rios intermitentes e perenes. Ao se tentar identificar leitos de rios secos em lugares mais remotos também se encontrou certa dificuldade, pois, às vezes, a vegetação cobre esses leitos e nas imagens pancromáticas não há cor para diferenciar a vegetação das suas margens (mais escuras) de outras circundantes (mais claras), fator que se apresentou numa facilidade sentida ao ter sido usado o outro tipo de imagens.

A aquisição de linhas representantes de meios de locomoção humanamente importantes, ao contrário das 'linhas de água', foi mais fácil pela utilização de imagens pancromáticas do que pelas multiespectrais devido à mais alta resolução espacial das primeiras a qual permitiu identificar melhor a largura desses objetos e os diferenciar, principalmente entre caminhos do tipo 'pé-posto' e 'carreteiro', quando a dupla marca indicadora de passagem de rodas eram mais visíveis. Tais facilidades permitiram a identificação e aquisição de maior número desse tipo de elementos lineares para a base de dados, apesar de ter sido necessário mais tempo dedicado à sua extração e apesar de algumas dificuldades também terem sido enfrentadas como a ausência da dupla marca característica dos 'caminhos carreteiros' em alguns locais, a presença de vegetação mais densa cobrindo alguns caminhos, o ângulo de visada do sensor e a resposta espectral do solo que dificultaram a visualização e identificação de alguns deles, em algumas situações.

Quanto aos resultados relativos à aquisição de objetos pontuais, verificou-se a obtenção de uma maior quantidade de elementos do tipo 'construções' quando foram utilizadas imagens pancromáticas, mesmo tendo-se sentido alguma dificuldade em diferenciá-los de alguns 'barracos' por

causa da forma geométrica e da resposta espectral, igualmente apresentadas por ambos objetos quando vistos por estas imagens. Tal fator, pelo contrário, foi uma facilidade sentida quando se utilizaram as multiespectrais devido às cores apresentadas por elas. A maior quantidade de objetos do tipo ‘construção’ obtida pelo uso das imagens pancromáticas explica-se por causa da sua maior resolução espacial a qual possibilita uma melhor diferenciação entre tamanhos de objetos como os dos acima citados que, em atividades como as desenvolvidas no âmbito do MGCP, representam uma forma de diferenciação entre eles.

Em relação a outros objetos pontuais, em alguns casos a menor resolução das imagens multiespectrais prejudica a sua identificação e, em outros, a diferenciação entre eles, quando se optou por renunciar à sua vetorização. Além disso, a diferença de cores entre as imagens e nas zonas das sobreposições, provocada provavelmente pelas correções citadas no item 3.6.1, também não auxiliaram na realização dessas atividades.

Contudo, mesmo diante do maior número obtido para elementos do tipo ‘construções’ pelo uso das imagens pancromáticas e da aquisição de alguns elementos ter sido prejudicada pelas causas acima apresentadas aquando da utilização das imagens multiespectrais, de modo geral a quantidade de objetos pontuais apresentada na tabela 10 traduz a maior dificuldade sentida na sua identificação e vetorização quando foram utilizadas as primeiras imagens em comparação com as segundas. Dentre as dificuldades enfrentadas, as principais são:

- diferenciar ‘cabanas’ de alguns tipos de ‘vegetação’ e ainda de ‘solo exposto’ às margens de alguns rios e
- diferenciar entre alguns ‘afloramentos rochosos pontuais’ e algumas ‘cabanas’ ou alguns ‘barracos’ por causa da dimensão reduzida dos primeiros e por não haver vegetação no seu espaço circundante, o que pode indicar atividades e movimentação humana e de animais e, assim, tratar-se de habitações em vez de afloramentos rochosos.

Os dois obstáculos apresentados acima são explicados pela morfologia apresentada pela área de estudo, mas principalmente pela falta de cor das imagens pela qual alguns objetos apresentam respostas espectrais semelhantes, fator que dificulta sua identificação e diferenciação.

De qualquer forma, a esta altura julga-se importante chamar a tenção para o fato de que, conforme se pode depreender das causas apresentadas acima, apesar de ter-se obtido de modo geral uma maior quantidade de objetos pontuais, a aquisição de elementos de menor porte como os que aqui foram apresentados, pode ficar lesada se utilizadas imagens com resolução semelhante à das multiespectrais usadas neste estudo.

Apesar do ambiente circundante apresentar cores e respostas espectrais diferentes que facilitaram a identificação de seus limites (fator que pode explicar a maior quantidade de elementos extraídos para a base de dados pela utilização das imagens multiespectrais), ‘áreas de formações rochosas’ foram fáceis de ser identificadas e vetorizadas não pela presença de cor nas imagens coloridas ou pela maior resolução das imagens pancromáticas, mas por causa da dimensão desses objetos.

No que diz respeito à aquisição de ‘rios areais’ e de ‘zonas de cultivo’ próximas a estes, o conhecimento do clima da região, a utilização de fontes de dados auxiliares e a existência de regras definidoras apresentam-se como base importante para a sua realização. Contudo, a presença de cor das imagens multiespectrais revelou-se imprescindível para proceder a estas atividades com maior precisão e em menos tempo, conclusão à qual se chegou após algumas análises:

- leitos de rios com água e solos encharcados apresentam iguais respostas espectrais em imagens pancromáticas, o que pode levar o observador a classificar erroneamente o rio, seja como intermitente, seja como perene;
- a diferenciação entre margens (leito maior) de rios intermitentes, secos ou perenes e os limites de zonas ribeirinhas dedicadas ao cultivo, assim como a identificação das que estão em fase de preparação para estas atividades, torna-se mais fácil com a presença

de cores nas imagens;

- as cores facilitam a identificação dos limites das margens e, consequentemente, a da largura de rios secos que apresentam vegetação ao longo do seu leito.

As cores também se mostraram como importantes aliadas durante as atividades de diferenciação entre ‘solo exposto’ e ‘área de pastagem’ e entre ‘área de vegetação’ e ‘área arbórea’, ainda que a diferença entre os números deste último elemento adquiridos pelo uso das duas imagens não seja relevante.

Embora se tenha escolhido como área de estudo uma zona que possibilitou a visualização de pequenos objetos e que ao mesmo tempo apresentou diferentes morfologias com o objetivo de garantir que a investigação desenvolvida pudesse ser aplicada a diferentes cenários, é indiscutível que esta é característica de meio rural, o que possibilita que mais investigações, como a do estudo em causa, possam ser realizadas utilizando-se áreas de outras naturezas como a urbana, por exemplo.

Devido à velocidade do desenvolvimento das tecnologias que estão à disposição das sociedades da atualidade não se põe em causa que outros estudos, como por exemplo utilizando-se imagens *pan-sharpened* e de ferramentas que ofereçam a visualização em 3D, atinjam melhores resultados, em termos de tempo e de quantidade de objetos, do que o apresentado.

Mesmo assim, este contribuiu para ajudar técnicos e, entre outros profissionais, gestores de projetos em decisões como a escolha do tipo de imagens comerciais de satélite com as quais devem trabalhar em certas atividades voltadas para a produção cartográfica de base ou temática ou ainda para a produção de catálogos de objetos que não necessitem considerar escala de representação e obter assim, melhores resultados como os acima citados. E, considerando-se o alto investimento para a aquisição de imagens de satélite comerciais com alta resolução como as utilizadas neste projeto, dependendo do tamanho da área a investigar, este estudo também contribui para que se evitem gastos desnecessários em imagens multiespectrais se os objetos-alvo têm grandes dimensões, a exemplo dos especificados pelo Guia de Extração MGCP e citados neste trabalho.

Ademais, depois das análises e breves conclusões acima relatadas, verificou-se um bom resultado em termos de quantidade e de tempo despendido para a extração de geo-informações, tendo sido um pouco melhor, de modo geral, pela utilização das imagens multiespectrais, não se descartando a utilização das fontes auxiliares de dados aliada a alguma experiência do técnico como questões importantes a serem consideradas para a completagem de trabalhos de vetorização de objetos para a base de dados.

6. Bibliografia e Referências bibliográficas

Adaptado de 'África'. (29 de 05 de 2013). *África*. Obtido em 24 de 09 de 2013, de Ache Tudo & Região - um mundo de informações em suas mãos: <http://www.achetudoeregiao.com.br/africa/africa.htm>

Adaptado de Fonseca, A., & Fernandes, J. (01 de 2004). *Detecção Remota*. Lisboa, Portugal: LIDEL - edições técnicas, lda.

Adaptado de NGA. (2013). *NGA*. Obtido em 22 de 06 de 2013, de VMap1 Global Geospatial Intelligence Agency Shapefiles: http://geoengine.nga.mil/geospatial/SW_TOOLS/NIMAMUSE/webinter/vmap1_legend.html

Armenica. (2010). *www.armenica.org* . Obtido em 07 de 07 de 2013, de Ventos do Universo: http://1.bp.blogspot.com/_sLjuDPITvUo/TGZ72A14itI/AAAAAAAAACKc/k1fp8yVux5I/s1600/MapaMundiBail%C3%B3nicosMEU.jpg

ASTRIUM. (2013). *SPOT Satellite Imagery*. Obtido em 30 de 05 de 2013, de ASTRIUM - an eads company: <http://www.astrium-geo.com/en/4388-spot-1-to-spot-5-satellite-images>

Baylonianmaps. (19 de 06 de 2013). Obtido em 07 de 07 de 2013, de pt.wikipedia.org: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/a5/Baylonianmaps.JPG/200px-Baylonianmaps.JPG>

Berberan, A. (2003). *Elementos de fotogrametria: aplicada à aquisição de informação geográfica*. Lisboa: Edições Zavalá.

Britannica. (1989). Obtido de <http://media.web.britannica.com/eb-media/89/84889-004-6608CE01.jpg>

Buchot, E. (14 de 04 de 2013). *Fotografias da África - Clima de Angola na África*. Obtido em 19 de 07 de 2013, de Fotografias e imagens de viagens: <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQRQgeTO2N0MzqK2bEec-8msCa6SUKspRmjh5Hw7DrS2MEbpsKWPA>

Campbell, J.; Wynne, R. (2011). *Introduction Remote Sensing*. London: Guilford Publications, Inc.

Canada Centre for Remote Sensing. (25 de 09 de 2007). *Fundamentals of Remote Sensing*. Obtido em 10 de 06 de 2013, de Canada Centre for Remote Sensing: <http://www.nrcan.gc.ca/earth-sciences/node/1430>

Candeias, A. & Silva, M. (2003). *ATUALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA ATRAVÉS DE IMAGENS DE SATÉLITES E ORTOFOTOCARTAS DIGITALIZADAS*. Obtido em 15 de 07 de 2013, de <http://www.ufpe.br/cgtg/ISIMGEO/CD/html/Fotogrametria%20e%20Sensoriamento%20Remoto/Artigos/f006.pdf>

Castillejo-González et al. (2009). Object-and pixel-based analysis for mapping crops and their agro-environmental associated measures using QuickBird imagery. *Computers and Electronics in Agriculture*, 68, 207-215.

Catalão, J. (2010). Princípios e Aplicações de Detecção Remota. Texto não publicado. Lisboa, Portugal: Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

Catita, C. (2010). Ciência e Sistemas de Informação Geográfica. *Estrutura de dados gráficos em SIG*. Texto não publicado. Lisboa, Portugal: Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

Dênis Soares, L. G. (fevereiro de 2008). Estimativa de área agrícola com dados de resolução espacial original e simulada e métricas de paisagem. *Scientia Agricola*. (2000).

DGIWG. (2013). *DGIWG*. Obtido em 29 de 06 de 2013, de Defence Geospatial Information Working Group: <http://www.dgiwg.org/dgiwg/>

DigitalGlobe. (11 de 01 de 2011). Imagery Support Data (ISD) Documentation - Supplemental information for the Product Guide. EUA. Obtido em 30 de 07 de 2013

DigitalGlobe. (05 de 2013). DigitalGlobe's Core Product Imagery Guide v1.1.

DigitalGlobe. (06 de 03 de 2013). *Quickbird*. Obtido em 11 de 06 de 2013, de DigitalGlobe: <http://www.digitalglobe.com/sites/default/files/QuickBird-DS-QB-Web.pdf>

DigitalGlobe. (01 de 2013). Obtido em 13 de 06 de 2013, de World View-1: <http://www.digitalglobe.com/sites/default/files/WorldView1-DS-WV1-Web.pdf>

Engesat. (2006). Obtido em 13 de 06 de 2013, de Landsat 5: <http://www.engesat.com.br/?system=news&action=read&id=528>

ESRI. (2012). Obtido em 22 de 06 de 2013, de http://webhelp.esri.com/arcgisserver/9.3/java/geodatabases/feature_class_basics.htm

Part 4 - FACC. In DGIWG, *The Digital Geographic Information Exchange Standard (DIGEST)* (pp. 4-5-1). https://www.dgiwg.org/digest/html/DIGEST_2-1_Part4.pdf: Digital Geographic Information Working Group (DGIWG).

Ferreira, A. (2013). Obtido em 07 de 05 de 2013, de Dicionário do Aurélio Online - Dicionário da Língua Portuguesa: <http://www.dicionariodoaurelio.com/Satelite.html>

Florenzano, T. G. (2008). *Os satélites e suas aplicações*. São José dos Campos: JAC Gráfica e Editora.

Graça Abrantes. (1998). *Sistemas de Informação Geográfica — Conceitos*. Obtido em 02 de 09 de 2013, de <http://www.isa.utl.pt/dm/sigdr/sigdr01-02/SIGconceitos.html>

Geospatial Intelligence Production Solution for MGCP. (05 de 2010). Obtido em 18 de 03 de 2013, de Intergraph: http://www.intergraph.co.za/downloads/GIPS_for_MGCP.pdf

Grigio, A. (março de 2003). *Aplicação de sensoriamento remoto e sistema de informação geográfica na determinação da vulnerabilidade natural e ambiental do Município de Guimarães(RN): simulação de risco às atividades da indústria petrolífera*. Obtido de http://btdt.bczm.ufrn.br/tesdesimplificado/tde_arquivos/11/TDE-2006-08-23T051432Z-199/Publico/AlfredoMG.pdf

IBGE, I. B. (2012). *Atlas Geográfico Escolar*. IBGE.

IGeoE. (05 de 07 de 2013). Obtido em 06 de 07 de 2013, de Historial: <http://www.igeoe.pt/instituto/historial.asp>

Instituto Geográfico do Exército Português - IGeoE. (2013). Obtido em 18 de 03 de 2013, de Projectos em Execução: <http://www.igeoe.pt/projectos/txtprojexec.htm#mgcp>

ISO. (2013). Obtido em 09 de 07 de 2013, de ISO 19115:2003: http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=26020

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. (s.d.). *INPE - Portal de acesso à informação*. Obtido em 07 de 05 de 2013, de Ministério da Ciência, Tecnologia e Educação - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais: <http://www.inpe.br/acessoainformacao/node/405>

Ippoliti-Ramilo et al. (1999). Sensoriamento remoto orbital como meio auxiliar na previsão de safras. *Agricultura em São Paulo*, v.46, n.1, 89-101.

Lechui, B., Filho, P., & Sousa, J. (7 de 2012). Utilização de imagens orbitais de alta resolução em superfícies com níveis distintos de impermeabilização do solo urbano: caso Irati-PR. *Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas, Londrina, Brasil*, pp. 127-140.

Li, R. (http://asprs.org/a/publications/pers/98journal/december/1998_dec_1165-1169.pdf de 12 de 1998). Potential of High-Resolution Satellite Imagery for National Mapping Products. *PHOTOGRAMMETRIC ENGINEERING & REMOTE SENSING*, pp. 1165-1170.

Lillesand, T., & Kiefer, R. (1994). *Remote Sensing and Image Interpretation. Fourth Edition*. New York: Wiley & Sons.

Liu et al. (1998). Comparação entre três modelos de previsão de safra de café no Estado de Minas Gerais. *Ciência e Cultura*, v.40, n.8, 801-807.

Lopes, L. 2012. (s.d.). *Comprimento de onda*. Obtido em 30 de abril de 2013, de Laserterapia na Odontologia: http://www.nupen.com.br/Revista_port/fund_fisicos4_3.php

Mallinis et al. (2008). Object-based classification using QuickBird imagery for delineating forest vegetation polygons in a Mediterranean test site. *Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 237-250.

NASA. (09 de 05 de 2013). *Landsat 7*. Obtido em 20 de 05 de 2013, de National Aeronautics and Space Administration: <http://landsat.gsfc.nasa.gov/about/landsat7.html>

NASA. (06 de 2013). Obtido em 21 de 06 de 2013, de http://gcmd.gsfc.nasa.gov/records/CANADA-CGDI_Canada_CTI_VMAP0.html

Nauro Issamu Ishikawa. (2001). *Potencialidade de uso de imagens Ikonos/Geo para aplicações em áreas urbanas*. Obtido em 15 de 07 de 2013, de http://www4.fct.unesp.br/pos/cartografia/docs/teses/d_ishikawa_mi.pdf

NGA. (28 de 06 de 1996). *Interface Standard For Vector Product Format*. Obtido em 29 de 06 de 2013, de http://earth-info.nga.mil/publications/specs/printed/2407/2407_VPF.pdf

NGA. (2013). Obtido em 22 de 06 de 2013, de VMap1 Global Geospatial Intelligence Agency Shapefiles: http://geoengine.nga.mil/geospatial/SW_TOOLS/NIMAMUSE/webinter/vmap1_legend.html

NIMA. (9 de 28 de 1998). *National Imagery and Mapping Agency*. Obtido em 21 de 06 de 2013, de Vector Map Level 0: <http://earth-info.nga.mil/publications/vmap0.html>

ONUBR. (2012). *International Telecommunication Union - UIT*. Obtido em 07 de 05 de 2013, de Nações Unidas no Brasil - ONUBR: <http://www.onu.org.br/onu-no-brasil/uit/>

Ponzoni & Rezende. (Ago 2002). INFLUÊNCIA DA RESOLUÇÃO ESPACIAL DE IMAGENS ORBITAIS NA IDENTIFICAÇÃO DE ELEMENTOS DA PAISAGEM EM ALTAMIRA-PA. *Revista Árvore*, v.26, n.4,, 403-410. ISSN 0100-6762.

Portugal, I. S. (03 de 2010). *UTILIDADE E VALOR DA INTEGRAÇÃO DE IMAGENS DE SATÉLITE DE ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL NA PRODUÇÃO DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA A NÍVEL MUNICIPAL*. Obtido em 15 de 07 de 2013, de http://run.unl.pt/bitstream/10362/4666/1/tese_inesportugal_final.pdf

Rudorff et al. (janeiro-fevereiro de 2007). Superfícies de resposta espectro-temporal de imagens do sensor MODIS para classificação de área de soja no Estado do Rio Grande do Sul. *Ciência Rural*.

Satellite Imaging Corporation. (2013). *Satellite Imaging Corporation*. Obtido em 11 de 06 de 2013, de Ball Global Imaging System 2000: http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/Ball_GIS_2000_QuickBird_Sensor.pdf

Sequeira et al. (11 de 2006). Implementação do MGCP no IGeoE. *Boletim do Instituto Geográfico do Exército*, pp. 4-11.

Silva, F. B. (20 de fevereiro de 2009). MODELAÇÃO CARTOGRÁFICA E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO - UM ENSAIO METODOLÓGICO DE CARTOGRAFIA DASIMÉTRICA APLICADO À REGIÃO OESTE E VALE DO TEJO. *Universidade do Porto*.

Siqueira et al. (2008). Segmentação e classificação de dossel florestal em imagens Quickbird. *Ambiência*, 4 - Edição especial, 35-46.

Updike & Comp. (1 de 11 de 2010). *Radiometric Use of WorldView-2 Imagery*. Obtido em 12 de 06 de 2013, de DigitalGlobe: http://www.digitalglobe.com/sites/default/files/Radiometric_Use_of_WorldView-2_Imagery%20%281%29.pdf

VMAP3: Uma realidade. (11 de 2002). *Boletim do Instituto Geográfico do Exército*, 50-55.

Weng, Q. (2010). *Remote Sensing and GIS Integration - Theories, Methods and Applications*. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc.

Wulder et al. (2008b). Landsat continuity: issues and opportunities for land cover monitoring. *Remote Sensing of Environment*, v.112, 955-969.